

Trabajo fin de Master

“Diseño de una metodología para la selección de actuaciones de mejora en la red convencional de ADIF mediante el Proceso Analítico Jerárquico (AHP).”

Directores:

Pablo Aragonés Beltrán.

Juan Pascual Pastor Ferrando

Alumno:

Jesús Montesinos Valera

Junio 2010

A Carolina, con todo mi amor, por estar ahí mientras tesineaba.

## Índice.

1. Objeto del trabajo.....	1
1.1. Ámbito de trabajo adoptado.....	2
1.2. Objetivos del trabajo.....	2
2. El mantenimiento de las instalaciones ferroviarias.....	4
2.1. Problemática de selección de carteras de proyectos en mantenimiento.....	4
2.2. Sistemas de selección propuestos.....	6
3. Sistemas de decisiones Multicriterio y el método AHP.....	8
3.1. Elementos del proceso de decisión.....	10
3.2. El Proceso analítico jerárquico (AHP).....	12
3.3. Comparaciones pareadas con ratios.....	13
3.4. Proceso de aplicación del método AHP.....	16
3.4.1. Estructurar el problema como una jerarquía.....	16
3.4.2. Establecimiento de prioridades entre los criterios.....	17
3.4.3. Establecimiento de prioridades entre las alternativas.....	17
3.4.4. Generación de prioridades globales para cada alternativa.....	18
3.5. Inversión de rango y ajuste de escalas.....	18
4. Técnica de clasificación Post-hoc. Algoritmo de las K-medias.....	21
5. Caso de estudio, Gerencia de Mantenimiento Valencia, ADIF.....	22
5.1. Análisis del problema de decisión.....	24
5.1.1. Identificación de los criterios considerados.....	24
5.1.2. Criterios de seguridad en la circulación.....	25
5.1.3. Criterios de eficiencia en la explotación.....	27
5.1.4. Criterios de eficiencia técnica.....	29
5.1.5. Criterios de utilidad social.....	32
5.1.6. Criterios de eficiencia económica.....	33
5.1.7. Criterios de sostenibilidad ambiental.....	34
5.1.8. Criterio del tramo de vía.....	36
5.1.9. Criterios no considerados.....	36
5.2. Agrupación de los tramos en grupos homogéneos.....	37
5.3. Identificación de la cartera de alternativas.....	46
5.3.1. Listado de alternativas consideradas inicialmente.....	46
5.3.2. Modelo Jerárquico empleado.....	46
5.3.3. Ponderación de los criterios y categorías.....	47
5.3.4. Análisis de los pesos de las categorías de cada criterio.....	51
5.3.5. Ordenación de las alternativas obtenidas.....	55
6. Resultados.....	56
6.1. Análisis de la importancia de criterios por grupos.....	57
6.1.1. Criterios de seguridad en la circulación.....	58
6.1.2. Criterios de eficiencia en la explotación.....	58
6.1.3. Criterios de eficiencia técnica.....	59
6.1.4. Criterios de utilidad social.....	59
6.1.5. Criterios medioambientales.....	60
6.1.6. Criterios económicos.....	60
6.1.7. Tramo de Vía.....	60
6.2. Análisis de sensibilidad de los criterios y alternativas.....	61
6.2.1. Análisis de sensibilidad de los criterios.....	61
6.2.1.1. Criterio reducción de pasos a Nivel.....	61
6.2.1.2. Criterio mejora señalización de PaN.....	62

6.2.1.3.Criterio mejora sistemas ayuda a la conducción.....	62
6.2.1.4.Criterio Reducción del cantón critico.....	63
6.2.1.5.Criterio mejora en la comunicación entre municipios.....	64
6.2.1.6.Criterio automatización de itinerarios y bloqueos.....	64
6.2.2. Conclusiones del análisis de sensibilidad.....	65
7. Conclusiones.....	66
7.1. Desarrollos Futuros.....	66
Bibliografía.....	67

Anexo 1. Distribución geográfica de la red de ADIF.

Anexo 2. Distribución geográfica de la red de la Gerencia de Mantenimiento de Valencia.

Anexo 3. Listado de tramos y sus características.

Anexo 4. Listado de tramos parametrizados.

Anexo 5. Listado de actuaciones valoradas.

Anexo 6. Comparaciones pareadas de los criterios.

Anexo 7. Comparaciones pareadas de las categorías.

Anexo 8. Matrices Unweighted y Weighted.

Anexo 9. Listado de alternativas para análisis de sensibilidad.

## **1 Objeto del trabajo.**

La red ferroviaria precisa la realización continua de acciones de mantenimiento: Eliminación de pasos a nivel, renovaciones de tramos de vías, mejoras de plataforma, etc. Estas acciones tienen la característica de que son muy heterogéneas en cuanto a urgencia, costes de inversión y explotación subsiguientes. El gestor de la red tiene que decidir tanto sobre qué tramo actuar como sobre qué acciones ejecutar de forma prioritaria.

En el presente trabajo se propone un método de ayuda a la decisión, mediante el empleo del AHP conjuntamente con la técnica K-medias de clasificación en grupos, para ayudar al administrador de una red ferroviaria a establecer una prioridad sobre las numerosas acciones de mantenimiento que se le plantean sobre los diferentes tramos bajo su supervisión. Esta propuesta permite analizar las alternativas que se plantean, realizando un análisis por K-medias que permite clasificar los tramos en grupos homogéneos, así como estudiar con gran profundidad los criterios y su forma de evaluación que se deben tener en cuenta para establecer las correspondientes prioridades. El método propuesto se ha aplicado sobre un caso de estudio que es la Gerencia de Mantenimiento de la red convencional de Valencia, perteneciente a ADIF.

El sector ferroviario es un sector de alto índice de capitalización y de ciclos de vida muy largos, con actuaciones que una vez realizadas son difícilmente modificables, los tiempos de construcción son largos y la utilidad de una instalación está vinculada a su conexión con el resto de la red, (López, 2006)

En cualquier entorno en el que haya que utilizar recursos limitados es necesario algún tipo de proceso de toma de decisiones para elegir las actuaciones a realizar entre todas las posibles que satisfagan las necesidades o deseos al máximo posible. La dificultad estriba normalmente en que no se conoce la dinámica interna del sistema con el suficiente detalle como para identificar las causas que producen ciertos efectos observados, (Saaty, 1997).

El hecho de que la principal fuente de financiación del ferrocarril sea el sector público, tanto en España, como en el resto del mundo, hace que en esta toma de decisiones se tengan que incluir otros criterios además de los exclusivamente técnicos y económicos, pero que pueden variar en gran medida la idoneidad de las actuaciones.

Los métodos de ayuda a la decisión multicriterio permiten organizar la información y los razonamientos usados en la toma de decisiones, así como permiten establecer la medida en la que el decisor comprende las relaciones entre los factores, maximizado los beneficios totales dentro de determinadas restricciones. Todas estas características hacen que sea un sector donde resulte especialmente interesante el aplicar técnicas de decisión multicriterio para optimizar el uso de recursos y documentar las razones que se han usado para seleccionar los proyectos a ejecutar.

Dentro del sector ferroviario el subsector de las actuaciones sobre líneas en servicio realiza un porcentaje elevado del total de las actuaciones y su optimización puede mejorar el resultado económico y social del ferrocarril a corto plazo al afectar a las instalaciones que están funcionando ya. Estas actuaciones son las obras de mejora en

instalaciones existentes, por desgaste, renovación tecnológica o adaptación a nuevos estándares.

### **1.1 Ámbito de trabajo adoptado.**

En esta tesina solo se van a evaluar actuaciones de mejora en instalaciones existentes. Las actuaciones de mejora no van a incluir modificaciones que se realicen en las instalaciones provocadas por cambios en las necesidades del operador de transporte, RENFE en transporte de pasajeros y RENFE y el resto de operadoras privadas en mercancías. Tampoco incluirán obras para mejorar la compatibilidad entre el material rodante y las instalaciones fijas, ni a decisiones estratégicas de implantación tecnológica o normativa, sino solo las actuaciones de mejora progresiva o incremental de los procesos e instalaciones ya existentes, en base a las necesidades actuales y las necesidades previstas a medio plazo.

Este tipo de actuaciones no tiene por tanto incertidumbre tecnológica o de aplicabilidad, por ser aplicación de tecnologías o sistemas existentes, sino que sus riesgos están asociados a las incertidumbres de costo, plazo y afección al funcionamiento durante su implantación, propias de cualquier proyecto de construcción y puesta de marcha de un proceso continuo, como es la explotación ferroviaria.

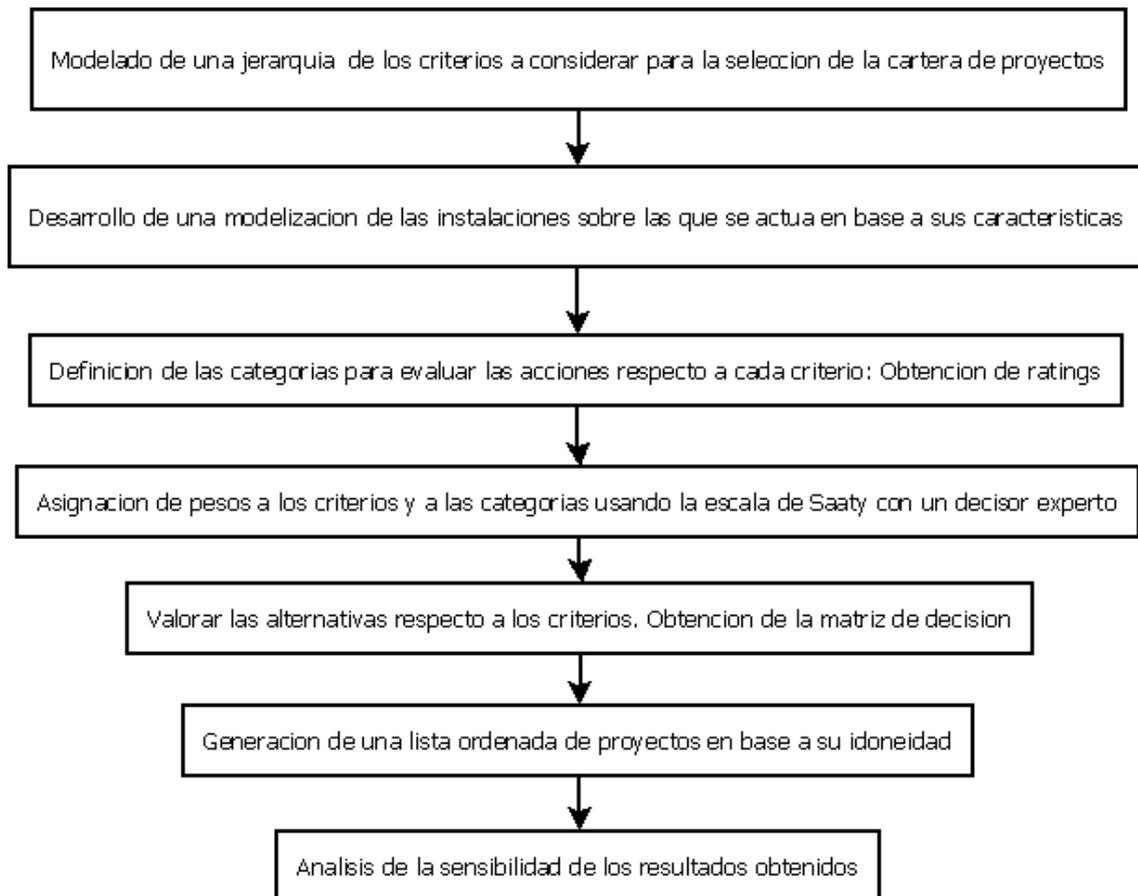
### **1.2 Objetivos del trabajo.**

El objetivo de este trabajo es: Proponer un método que permita establecer prioridades en los proyectos de obras de reforma y mantenimiento de líneas ferroviarias, mediante la aplicación del proceso analítico jerárquico (AHP). La utilización de este método ayudará a realizar un análisis riguroso y sistemático de las alternativas que se plantean y de la selección de los criterios que habrá que tener en cuenta para establecer las prioridades. También se analizará la aplicabilidad del método empleado mediante su utilización en un caso de estudio: El establecimiento de prioridades en los proyectos de obras de reforma y mantenimiento de las líneas ferroviarias de la Gerencia de Mantenimiento de Valencia, Dirección ejecutiva de Red convencional de ADIF.

El problema fundamental a resolver en este trabajo consiste en la ordenación de la cartera de proyectos posibles, para maximizar la satisfacción del decisor. Por último se realizará un análisis comparativo entre el método propuesto y el actual proceso de toma de decisiones.

La intención de este trabajo es, como dice Saaty, visualizar nuestros problemas en un marco complejo, pero organizado que permita la interacción e interdependencia de los factores y que al mismo tiempo nos permita pensar en ellos de forma sencilla, (Saaty, 1997).

El trabajo se desarrollará siguiendo el presente proceso:



## 2. El mantenimiento de las instalaciones ferroviarias.

### 2.1 Las instalaciones Ferroviarias.

Actualmente toda la red ferroviaria española es de titularidad pública, perteneciendo a diferentes administraciones tanto a nivel nacional como local. La administración y gestión de la red española ferroviaria de interés general, que incluye las líneas e instalaciones de propiedad estatal en ancho nacional ( 1.667 mm), esta encomendada a ADIF por parte del ministerio de fomento mediante un contrato programa. ADIF se hace cargo además de la construcción y explotación de la red ferroviaria de alta velocidad en ancho internacional ( 1.435 mm) .

La parte de red ferroviaria de interés general, propiedad del estado, pero de vía estrecha ( 1.000 mm) es gestionada por FEVE mediante un contrato programa, siendo además el operador de transporte.

A nivel autonómico existen otras administraciones ferroviarias que explotan redes de menor longitud, para servicios de cercanías y metropolitanos.

- Metro de Madrid.
- Ferrocarrils de la generalitat Catalana (FGC).
- Ferrocarrils de la generalitat Valenciana (FGV).
- Serveis Ferroviaris de Mallorca (SFM).
- Ferrocarriles de la junta de Andalucía.
- EuskoTren.
- Metro Bilbao.
- Transportes Metropolitanos de Barcelona (TMB).

En los últimos años han surgido muchas explotaciones tranviarias modernas para transporte metropolitano de viajeros, pero su importancia es marginal frente al resto de las instalaciones existentes. La red de tranvía moderno más antigua de España es de la Valencia, abierta en 1994 e integrada en FGV.

Las líneas gestionadas por ADIF, a 31 de diciembre de 2008 tienen las siguientes características:

Longitud de la red	13.383 km
Red de Alta velocidad (Ancho internacional)	1.589 km
Red Convencional (Ancho ibérico)	11.755 km
Red mixta	21 km
Red de vía estrecha	18 km
Vía única electrificada	3.615 km
Vía doble electrificada	4.503 km
Vía única no electrificada	5.191 km
Vía doble no electrificada	74 km
Con CTC	8.000 km
Con BCS	719 km
Con BSL	930 km

Con ERTMS nivel 1	1.069 km
Con Radiotelefonía	8.395 km
Con GSM-R	1.603 km
Con ASFA	10.615 km
Con Velocidad > 250 km/h	1.247 km
Con Velocidad > 200 km/h y < 250 km/h	487 km
Con Velocidad > 160 km/h y < 200 km/h	254 km
Con Velocidad > 140 km/h y < 160 km/h	4.779 km
Con Velocidad > 140 km/h y < 100 km/h	3.563 km
Con Velocidad > 100 km/h	3.053 km

La distribución geográfica de la red de ADIF se puede ver en el anexo 1.

Por las instalaciones de ADIF se transportan anualmente (2006):

Viajeros Larga distancia (>300 km)	12.000.000 Viajeros
Viajeros Media distancia (>60 km y <300 km)	31.556.000 Viajeros
Toneladas de Mercancías	24.918.000 Toneladas
Viajeros Cercanías	498.000.000 Viajeros

Que representa la totalidad de los viajeros de larga distancia, la mayor parte de los de media distancia y cerca del 80% de las toneladas transportadas, en cercanías representa un porcentaje alto del total pero pierde la primera posición frente a Metro de Madrid (685 Millones de viajeros), TMB (405 Millones de pasajeros en 2009), aunque sigue teniendo volúmenes altos frente a por ejemplo Metro Valencia con 68 Millones de viajeros en 2008 o Metro de Bilbao con 70 millones en 2006.

España es un país relativamente pobre en infraestructura ferroviaria, ya que dispone de 28 km/km<sup>2</sup> mientras que la media de la UE-25 es de 50 km/km<sup>2</sup>. (Observatorio del ferrocarril en España, 2007). La infraestructura esta además obsoleta en gran parte, existiendo como se ha visto en la tabla de características de ADIF anterior, líneas sin electrificar y con velocidades máximas inferiores a 100 km/h.

Desde el año 2005 el antiguo monopolio estatal RENFE se disgrega en dos entidades diferenciadas, RENFE operadora, que se hace cargo del material móvil y se encarga de la operación de los trenes en libre competencia en mercancías y a partir del 2010 en libre competencia para viajeros. Por otro lado se crea ADIF (Administrador de infraestructuras ferroviarias) que gestiona la explotación y el mantenimiento de la red ferroviaria, asignándoles a los diferentes operadores ferroviarios los surcos sobre las vías. Este modelo es parecido al de los aeropuertos, gestionados por AENA y de propiedad publica en los que operan diferentes compañías en régimen de libre acceso.

ADIF gestiona el tráfico y mantiene las vías, estando relacionada con los operadores mediante contratos de uso, en los que los problemas en la circulación debido a los fallos de la infraestructura, suponen una penalización económica para ADIF. Por otro lado cuanto menor sea el tiempo de indisponibilidad de la red por mantenimiento mayor numero de surcos estarán disponibles para los operadores aumentando la facturación total.

## 2.2 El mantenimiento de las infraestructuras ferroviarias.

Las instalaciones ferroviarias, como cualquier otra instalación requieren de un mantenimiento y revisión para mantenerse en condiciones operativas, la norma francesa AFNOR 60.010 define el mantenimiento como “El conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien a un estado especificado o en capacidad de asegurar un servicio determinado”.

El caso particular del mantenimiento de las líneas de ferrocarril es más complejo que una instalación industrial habitual por tener periodos de amortización muy largos y ser instalaciones exteriores lineales Melis y González, (2002).

En muchas instalaciones industriales es posible implantar equipos redundantes o duplicados para asegurar la disponibilidad de los mismos. Esto no es posible en general para una línea ferroviaria, aunque determinados equipos se duplican o fiabilizan especialmente.

En este trabajo solo se van a considerar las instalaciones puramente ferroviarias de infraestructura, descartamos todo lo relacionado con estaciones y terminales de mercancías y servicios auxiliares o complementarias a estas.

No consideraremos ni el material móvil ni las instalaciones comerciales o no directamente relacionadas con la explotación.

En las instalaciones consideradas, los ciclos de vida y las duraciones medias son muy diferentes, puesto que la duración prevista de un puente ferroviario o de un sistema de telecomunicaciones son diferentes en ordenes de magnitud, de 100 a 5 años en el ejemplo y las posibilidades de actuar sobre ellas son muy diferentes. Melis y González, (2002), describen las diferencias entre la vida útil de túneles metropolitanos y las instalaciones interiores, López, (2006), describe los ciclos de mantenimiento y renovación necesarios para diferentes tipos de vía, Montesinos y Carmona, (2002) explican la necesidad de sustituir los hilos de contacto en función del uso, Kiebling, Puschmann, Schmieder, (2001), describen como se produce el envejecimiento de las instalaciones y la vida útil de las instalaciones de línea aérea de contacto, Lichtberger, (2007) habla sobre los costes del ciclo de vida de las infraestructuras ferroviarias.

Dentro del mantenimiento sé considerar tres grandes grupos de actuaciones. (ADIF, 2010) y (López ,2006).

1.- Mantenimiento preventivo. Representan las actuaciones rutinarias y programadas en base a un plan de mantenimiento, realizándose mediciones y comprobaciones del estado de la infraestructura ferroviaria, sustitución programada de elementos fungibles y sustitución o reparación según estado de los elementos revisados.

2.- Mantenimiento correctivo. Son las actuaciones no programadas realizadas para restablecer la disponibilidad de las instalaciones o las condiciones de prestación del servicio que se hayan visto alteradas por un suceso.

3.- Actuaciones de mejora: Son las actuaciones de gran envergadura que tienen por objetivo mejorar las prestaciones de la infraestructura por encima del nivel óptimo actual, tanto en mejores funcionalidades como en disminución de los costes de operación/mantenimiento.

Las actuaciones de mejora no van a incluir modificaciones que se realicen en las instalaciones provocadas por cambios en las necesidades del operador de transporte, ni a decisiones estratégicas de implantación tecnológica o normativa, sino solo las actuaciones de mejora progresiva o incremental de los procesos e instalaciones ya existentes, en base a las necesidades actuales y las necesidades previstas a medio plazo.

Este tipo de actuaciones no tiene por tanto incertidumbre tecnológica o de aplicabilidad, por ser de aplicación tecnologías o sistemas existentes, sino que sus riesgos están asociados a las incertidumbres de costo, plazo y afección al funcionamiento durante su implantación, propias de cualquier proyecto de construcción y puesta de marcha de un proceso continuo, como es la explotación ferroviaria.

Las actuaciones de mejora son proyectos completos de construcción o modificación, integración y puesta en marcha de procesos productivos continuos.

### 3.0 Descripción general del Proceso Analítico Jerárquico (AHP).

La toma de decisiones es un campo fundamental en la gestión de proyectos y en la gestión empresarial en general. Según Moreno-Jiménez (1996), la Decisión multicriterio es “El conjunto de aproximaciones, métodos, modelos, técnicas y herramientas dirigidas a mejorar la calidad integral de los procesos de decisión y a incrementar el conocimiento de los mismos”. La decisión multicriterio busca obtener el valor añadido del conocimiento disponible.

En general las decisiones más difíciles son las que tienen las siguientes características:

- Incertidumbre en los datos o resultados
- Observar intereses contrapuestos.
- Varias partes interesadas.
- Mezcla de elementos fáciles y difíciles de valorar.

Las técnicas de decisión multicriterio permiten abordar de forma sistemática y ordenada un problema en el que subyace una gran subjetividad. Saaty (1990). Las técnicas no intentan aportar una solución óptima de un modo matemático sino que lo que permiten es que el decisor sea capaz de determinar sus preferencias mediante un proceso que le aportara información y transparencia. Además permiten que pueda consultar a expertos y a personas o grupos afectados por la decisión a tomar.

En toma de decisiones nunca se puede volver atrás porque las decisiones adoptadas son irreversibles por lo que la única forma de disipar dudas o estudiar el porqué se tomó una decisión en un momento determinado es haber realizado un proceso claro y transparente que documente la toma de decisiones y justifique las decisiones tomadas, en base a la información existente, personas consultadas y el proceso utilizado.

La necesidad de sistemas de ayuda a la toma de decisiones se debe:

- a) A la importancia de las decisiones a tomar, en este trabajo se estudia la importancia de realizar determinados proyectos, de alto coste económico, plazo de ejecución largo y cuyos resultados son parcialmente desconocidos ya que no puede determinarse a priori la magnitud del efecto de los proyectos mas que de forma estimada.
- b) Por otro lado los seres humanos tienen una capacidad limitada de resolver problemas complejos, debida a la memoria y atención limitadas y a la tendencia a cambiar metas y valores, así como la tendencia a limitar a la captación y procesamiento de información, siendo también tendentes a la inestabilidad frente a la evaluación de las consecuencias de las soluciones adoptadas.

Para que una decisión sea buena, se ha de cumplir, según (León, 2001) las siguientes condiciones:

- Se ha definido el objetivo a conseguir.
- Se ha reunido toda la información relevante.
- Se han tenido en cuenta las preferencias del decisor.

(Saaty, 1997) da las siguientes características para una buena toma de decisiones.

- Ha de ser de elaboración simple.
- Adaptable a grupos e individuos.
- Natural a nuestra intuición y pensamiento general.

- Ha de alentar la transacción y la formación de consensos.
- No ha de requerir de una especialización exagerada para dominarla y comunicarla.

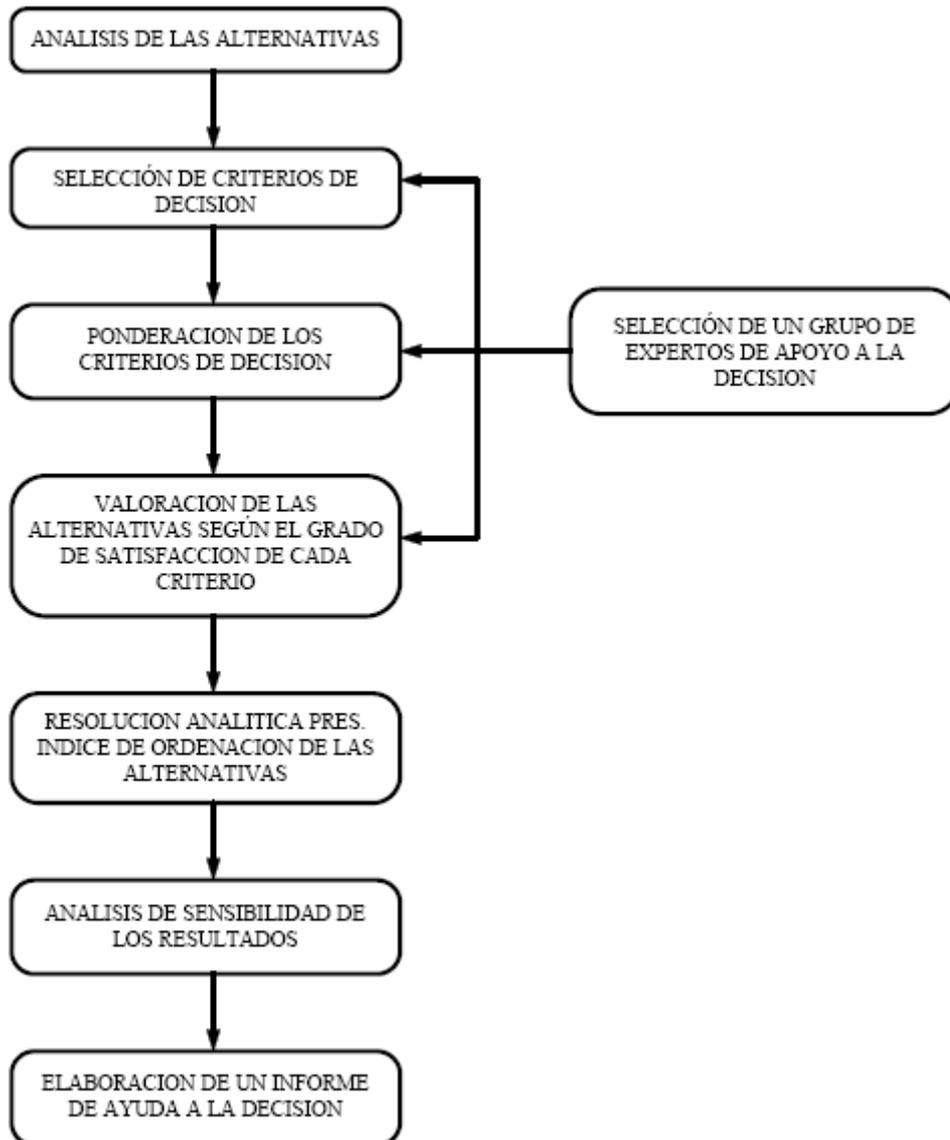
Los sistemas de decisión multicriterio pueden ser de varios tipos, (Aznar y Guijarro Martínez; 2005), aunque en este trabajo nos centraremos en los casos de problema discreto con alternativas explícitamente definidas, por ser el caso de toma de decisiones que estudiaremos.

Esta decisión marcará el enfoque metodológico de todo el trabajo.

En estos problemas no se considera la optimización matemática, en la que hay una función de utilidad de las alternativas sino que se considera el paradigma multicriterio en el que se busca una solución de equilibrio entre criterios en la que la solución preferida sea la que satisface al máximo posible los criterios considerados.

El planteamiento de un proceso general de toma de decisiones es el siguiente, según (Cortes-Aldana et al; 2009):

- Identificación del problema. Definir y Desarrollar adecuadamente el problema a resolver y el objetivo a conseguir, si es muy complejo puede llegar a dar la necesidad de estudiarlo por Fases o decisiones concatenadas.
- Estructuración el problema. Se analizan los valores que guían al decisor, tanto implícitos como explícitos, los factores externos ,tanto de criterios como de alternativas, las incertidumbres del problema y consideraciones especiales del problema, es esta etapa es cuando se evalúa la necesidad de expertos externos.
- Construcción del modelo. Es esta etapa se expresa una jerarquía de objetivos hasta establecer unos criterios que permitan valorar objetivamente el grado de cumplimiento de los objetivos de nivel superior, luego hay que ponderar los criterios, valorar las alternativas respecto a los criterios y agregar las valoraciones. Esta fase es diferente según la técnica utilizada.
- Utilización del modelo para informar y generar conocimiento. Con el modelo se puede hacer reflexionar al decisor y gestionar la información obtenida. Con los resultados obtenidos se realiza la interpretación y el análisis de sensibilidad que permita saber como evoluciona el problema ante cambios en los parámetros del modelo.
- Desarrollo de un plan de acción. Con toda la información generada el decisor puede adoptar la decisión que considere mas acertada y llevarla a la practica.



El uso de sistemas de decisión multicriterio explícitos en sectores públicos permite aumentar la transparencia al permitir estructurar los problemas de forma amplia y bien documentada y explicar que factores ejercen el mayor impacto sobre el resultado de una decisión, (Saaty, 1997).

### 3.1 Elementos del proceso de decisión.

**Decisor.** Individuo o grupo de individuos que tienen la responsabilidad de tomar la decisión.

**Alternativas o decisiones posibles.** Es el conjunto finito de soluciones, estrategias, acciones, decisiones, etc, posibles que hay que analizar durante el proceso de resolución del problema de decisión que se considere.

Se supondrá que este conjunto está formado por diferentes, exclusivas y exhaustivas. Esto es, el decisor no puede tomar decisiones intermedias entre dos alternativas, no se

puede tomar una solución que no este incluida en el conjunto de soluciones y además, si el decisor introduce una nueva decisión se ha de volver a evaluar todo el conjunto así definido.

Objetos, atributos y criterios. Los atributos son las características que definen a las alternativas, cuando a los atributos se les añade la información relativa a las preferencias del decisor, se define un criterio, los criterios de decisión constituyen los parámetros que se utilizan para manifestar las preferencias del decisor, en general es difícil establecer los criterios de decisión pero es el paso clave del proceso.

Dentro de los atributos se distingue entre objetivos y subjetivos. Dentro de los objetivos se considera:

- Atributos naturales. Directamente relacionados con el objetivo y se miden en su escala asociada.
- Atributos sustitutivos. Se utilizan cuando no es posible conseguir una medida directa del logro de un objetivo, pero es posible tener un atributo que refleja el logro del objetivo con una medida indirecta, estos atributos se usan cuando no se pueden definir atributos directos.

Pesos. Es habitual que la importancia de los criterios sea diferente, aunque eso no significa que los criterios poco importantes sean irrelevantes, normalmente existen unos pocos criterios importantes y un grupo de criterios menores de cierta importancia.

Los pesos son las medidas de la importancia relativa que los criterios tienen para el decisor, existen multitud de sistemas de obtención de pesos, desde los más sencillos, como la tasación simple a el AHP (proceso analítico jerárquico).

Matriz de decisión. Una vez establecidos los criterios y sus pesos se supone que el decisor es capaz de dar, para cada uno de los atributos y para cada alternativa, un valor numérico o simbólico que expresa una evaluación o juicio de una alternativa respecto al atributo, este conjunto evaluaciones se muestra en una matriz conjunta llamada matriz de decisión. Cada fila de la matriz expresa las cualidades de la alternativa respecto a los atributos considerados y cada columna representa los juicios del decisor respecto a un atributo de todas las alternativas.

El problema que se plantea entonces es, partiendo de los datos de la matriz, obtener la mejor alternativa y ordenar las alternativas de mejor a peor.

Preferencias del decisor. Se supone que el decisor establece sus preferencias dos a dos comparando si prefiere una alternativa a otra en base a un atributo, siendo las situaciones posibles las siguientes:

- El decisor prefiere estrictamente A a B.
- El decisor prefiere estrictamente B a A.
- No sabe si prefiere estrictamente una a otra o es indiferente entre las dos.
- Rechaza o no es capaz de comparar las alternativas.

Se puede preparar también la matriz de decisión en base a las preferencias, siendo esta la base del método AHP.

Según Saaty los principios de un sistema de toma de decisiones eficaz han de ser los siguientes:

- Veracidad sin simplificar excesivamente la complejidad. Un enfoque demasiado simplista es más sencillo que estudiar todas las variables críticas, encajarlas unas con otras y determinar sus prioridades e implicaciones, pero no es la forma idónea de obtener respuestas a problemas complejos.
- Justicia al evaluar costos y beneficios y asignar los costos a los que obtienen los beneficios. Ha de quedar claro quienes pagan los costes y quienes reciben los beneficios, debiendo tener más peso los que soportan la mayor parte del riesgo o del coste.
- Habilidad para planificar sobre lo desconocido calculando los cambios, determinando donde es probable que ocurran y decidiendo que prioridades deben dictar las acciones. Se deben poder manejar y planificar proyecciones y situaciones deseadas y no predecibles.
- Flexibilidad para adaptarse al cambio planificando e implementando y, en respuesta a nuevas condiciones, planificando e implementando nuevamente. Este enfoque iterativo es un proceso de aprendizaje que atenúa la tendencia a que las necesidades inmediatas dicten soluciones a corto plazo.

### **3.2 El Proceso Analítico Jerárquico (AHP).**

El método AHP (Analytic Hierarchy Process, Proceso analítico Jerárquico) fue propuesto por Saaty a finales de los 70, habiéndose desarrollado mucho desde entonces, (Saaty, 1990). Este método se basa en que se puede reducir la complejidad inherente a un problema de decisión con múltiples criterios mediante la jerarquización de los problemas planteados.

Este método permite llegar a una solución de una forma más eficiente que el método intuitivo que usamos generalmente pero el resultado final no es necesariamente más preciso, puesto que la bondad del modelo depende la calidad de la jerarquía y de las comparaciones realizadas, (Saaty, 1997).

El problema de decisión se plantea como una jerarquía en cuyo vértice está el principal objetivo del problema, en los vértices inferiores están las alternativas y en los intermedios los criterios, que a su vez se pueden descomponer en varios subniveles, tomándose la decisión en base a estas jerarquías. El diseño de las jerarquías se realiza en base a la experiencia y el conocimiento del problema a evaluar.

En este método se realizan comparaciones binarias entre cada elemento de cada nivel de la jerarquía, en base a la importancia o contribución de cada uno de ellos al vértice del nivel superior al que están ligados, (Saaty, 1997). Este proceso de comparación conduce a una escala relativa de prioridades o pesos entre los elementos, las comparaciones pareadas se realizan por medio de ratios de preferencia, entre alternativas y por ratios de importancia, entre criterios, que se evalúan según la escala numérica propuesta por Saaty, los pesos y prioridades relativas suman la unidad.

Cuando se construye la jerarquía se han de incluir tantos detalles como parezcan necesarios para comprender el problema ya que el propio proceso posterior de establecimiento de prioridades eliminara los elementos que carezcan de importancia.

Al descomponer la realidad en grupos homogéneos y subdividir estos grupos en otros más pequeños, podemos integrar cantidades más grandes de información dentro de la estructura de un problema y formar una imagen más completa de todo el sistema.

Al realizarse comparación pareadas entre todos los elementos se obtiene información redundante, que suele resultar incoherente. Las matrices de comparación pareadas contienen juicios redundantes, ya que en una matriz de tamaño N sería suficiente N-1 Juicios para poder ordenar todos los elementos de la matriz. Realmente se realizan  $N(N-1)/2$  juicios. Esta redundancia permite aumentar la exactitud de los juicios, reduciendo los errores y mejorando la consistencia de los juicios.

Una vez se ha evaluado la contribución de cada vértice a los vértices de la jerarquía del nivel superior, se calcula la contribución global de cada alternativa al objetivo principal mediante una agregación de suma ponderada.

(Saaty, 1990) resume este método como “Una teoría de la decisión que interpreta los datos y la información directamente mediante la realización de juicios y medidas en una escala ratio dentro de una estructura jerárquica establecida”.

### 3.3 Comparaciones pareadas con ratios.

El método AHP se basa en la comparación de elementos mediante escalas relativas. Estas escalas son fundamentales para representar una prioridad o importancia relativa. El método AHP toma pares de elementos que se encuentran en un mismo nivel de una jerarquía y los compara en base a una determinada propiedad sin tener en cuenta otras prioridades y elementos, (Saaty, 1990) consecuencia de esta comparación surge una prioridad relativa de los objetos respecto a esta propiedad, cuya medida esta basada en una escala ratio, la escala usada por Saaty es la siguientes

Intensidad de la importancia	Definición	Explicación
1	Igual	Dos actividades contribuyen en igual medida al objetivo.
3	Moderada	La experiencia y el juicio favorecen levemente a una actividad sobre la otra.
5	Fuerte	La experiencia y el juicio favorecen fuertemente a una actividad sobre la otra.
7	Muy fuerte o demostrada	Una actividad es mucho más favorecida que la otra; Su predominancia se demuestro en la practica.
9	Extrema	Las pruebas que favorecen a una actividad mas que a otra son del nivel de aceptación mas alto posible.

2,4,6,8	Para mediar entre valores anteriores	A veces es necesario interponer numéricamente un juicio de transacción puesto que no hay palabra apropiada para describirlo.
Recíprocos de lo anterior.	Si la actividad i se le han asignado números distintos de cero mencionados cuando se le compara con la actividad j, entonces j tiene el valor recíproco cuando se la compara con i	Una comparación que surge de la elección del elemento más pequeño como unidad para estimar el mayor como múltiplo de esta unidad.
Racionales	Coefficientes que surgen de la escala	Si se forzara la consistencia obteniendo n valores numéricos para abarcar la matriz.
1.1-1.9	Para actividades vinculadas	Cuando los elementos son cercanos y casi no se distinguen, moderado es 1.3 y extremo es 1.9

Para establecer el valor de la prioridad final el método usa el autovalor y el vector propio de la matriz de prioridades pareadas, supóngase que el decisor compara unos objetos, prioridades o alternativas  $A_j$  ( $J=1,2,3,\dots,n$ ) para establecer unas prioridades  $a_j$  (peso de los criterios o peso de las alternativas respecto a un criterio). La comparación se expresa mediante la matriz  $A$  y se quiere encontrar el vector de prioridades  $[a_1, a_2, \dots, a_n]$  según la siguiente ecuación:

$$\begin{pmatrix} a_1/a_1 & a_1/a_2 & \dots & a_1/a_n \\ a_2/a_1 & a_2/a_2 & \dots & a_2/a_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ a_n/a_1 & a_n/a_2 & \dots & a_n/a_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix} = \mathbf{n} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{pmatrix}$$

Donde:

- $A_j$  ( $J=1,2,3,\dots,n$ ) es el conjunto de objetos del nivel de la jerarquía cuyas prioridades hay que establecer, sean criterios o alternativas.
- $a_j$  es la magnitud que se mide, por ejemplo, pesos de los criterios o prioridades locales respecto a un criterio determinado.
- Los elementos de la matriz  $A=(a_{ij})$ ,  $a_{ij}=a_i/a_j$   $i,j=1,2,3,\dots,n$  son números positivos.

La matriz  $A$  tiene una forma especial pues su rango es 1, debido a que cada fila es múltiplo constante de la primera, por ello esta matriz tiene un único valor distinto de cero. La ecuación anterior se puede poner de la forma  $Aa=na$  El autovalor de  $A$  distinto de cero es igual a la dimensión  $n$  de la matriz y  $a$  es el vector propio asociado.

Cuando se le pide a un decisor que establezca unas prioridades mediante comparación pareada lo que hace es construir una matriz  $R$  cuyos componentes  $r_{ij}$  son valores numéricos positivos que indican la prioridad o importancia relativa entre el objeto  $A_i$  y el objeto  $A_j$  según la escala previamente establecida.

La matriz obtenida se denomina matriz recíproca. Esta matriz se caracteriza porque  $r_{ij}=r_{ji}$  Para este tipo de matrices se cumple que el autovalor máximo  $\lambda_{\text{Max}}$  es un número real positivo y que existe un autovector  $Z$  cuyas componentes son positivas asociado a ese valor, posteriormente se normaliza ese vector para que la suma sea la unidad.

Para medir la consistencia de los juicios emitidos se resuelve la ecuación  $R[a]=\lambda[a]$  cuanto más próximo este el valor  $\lambda_{\text{max}}$  de  $n$  más consistentes serán los juicios. El resto de los autovalores de  $R$  deben de estar próximos a cero. La consistencia se mide mediante un índice de consistencia  $CI=(\lambda-n)/(n-1)$  este índice se compara con un índice de inconsistencia aleatorio  $CIA$  calculado por experiencia que permite calcular el ratio de inconsistencia  $IR=CI/CIA$  Si  $IR<10\%$  se admite matriz  $R$  como suficientemente coherente y si es mayor se deberían revisar los juicios.

El hecho de poder medir en que comparación esta la mayor inconsistencia permite localizar los puntos que el decisor no tiene claros y cual es el valor que genera la mayor consistencia con el resto de las mediciones y como pequeños cambios pueden, siendo compatibles con la comprensión personal del decisor, aportar mayor exactitud.

El hecho de exigir un mínimo de consistencia se debe a no queremos que la decisión se base en juicios de tan baja consistencia que parezcan aleatorios ya que indicaría que los decisores no tienen una idea clara de que desean. Tampoco es exigible una consistencia perfecta, sino que basta con que exista suficiente consistencia como para que se mantenga la cohesión entre los objetos de nuestra experiencia.

También hemos de reseñar que si se aumenta el número de elementos que se comparan con un elemento e intentamos preservar la consistencia de su categorización anterior, debemos prestar atención a la forma como hacemos las comparaciones con el nuevo elemento.

Con el vector de prioridades  $[a]$  se analizan los resultados con el decisor.

El método AHP se basa en los siguientes axiomas, (Saaty, 1990).

- Axioma 1. El decisor puede realizar comparaciones pareadas  $a_{ij}$  de dos alternativas  $i$  y  $j$  según un criterio o subcriterio en una escala ratio de forma recíproca  $a_{ij}=a_{ji}$ .
- Axioma 2. El decisor nunca juzga una alternativa como infinitamente mejor que otra con respecto a un criterio  $a_{ij}\neq\infty$ .
- Axioma 3. El problema de decisión se puede formular como una jerarquía.
- Axioma 4. Todos los criterios y subcriterios tienen impacto en el problema y todas al alternativas importantes están incluidas en la jerarquía.

Las ventajas del método AHP son las siguientes: (Saaty, 1997)

- Unidad. El AHP proporciona un modelo único fácilmente comprensible, flexible para una única gama de problemas no estructurados.
- Complejidad. El AHP integra enfoques deductivos y de sistemas para resolver problemas complejos.
- Interdependencia. El AHP puede tratar con la interdependencia de elementos en un sistema y no insiste en el pensamiento lineal.
- Estructura Jerárquica. El AHP Refleja la tendencia natural de la mente a clasificar los elementos de un sistema en diferentes niveles y de agrupar elementos similares en cada nivel.
- Medida. El AHP proporciona una escala para medir imponderables y un método para esclarecer prioridades.
- Consistencia. AHP sigue la trayectoria de la coherencia lógico en los juicios empleados para determinar las prioridades.
- Síntesis. El AHP conduce a una estimación completa de la conveniencia de cada alternativa.
- Compensaciones. El AHP toma en consideración las prioridades relativas de los factores en un sistema y permite seleccionar la mejor alternativa en virtud de los objetivos.
- Juicio y consenso. AHP no busca consenso pero sintetiza un resultado representativo de diversos juicios.
- Repetición del proceso. El AHP permite que la gente afine su definición de un problema y mejore su juicio y compensación mediante la repetición.

### **3.4 Proceso de aplicación del método AHP.**

#### **3.4.1 Estructurar el problema como una jerarquía.**

Se definen los criterios que son importantes en el proceso de toma de decisiones. Estos criterios se construyen siguiendo una estructura jerárquica descendente desde uno o varios objetivos y por descomposición de estos en subobjetivos y atributos, hasta el nivel de detalle que se considere necesario.

Cada criterio se puede descomponer en una jerarquía de subcriterios, anidándose según las necesidades.

Esta parte del proceso es la más creativa y la que depende de la experiencia y de la capacidad de decisión del creador de la jerarquía.

Saaty sugiere que una de las formas de estructurar una jerarquía es comenzar desde el objetivo hasta lo mas descompuesto que podamos y luego repetir el proceso desde las alternativas hasta que los dos niveles del proceso se unan para poder hacer comparaciones.

Cuando se construye la jerarquía de criterios se debe analizar el problema en profundidad con el fin de:

- Representar el problema de la forma mas completa y global posible pero dejando abierta la posibilidad a algunos cambios en los elementos.
- Considerar el entorno que rodea al problema.

- Identificar los atributos que contribuyen a la solución.
- Identificar a las personas interesadas en el problema.

Una de las fortalezas del AHP es que el decisor solo tiene que comparar los elementos del mismo nivel sobre su efecto sobre los elementos de nivel superior, descomponiéndose el problema general en muchos problemas más sencillos.

Normalmente los problemas complejos tienen muchos factores relacionados entre sí, por lo que el pensamiento lógico tradicional lleva a secuencias de ideas tan mezcladas que sus interconexiones no se pueden discernir fácilmente.

No existe límite a la cantidad de niveles de una jerarquía, aunque no suelen ser necesario muchos niveles para definir completamente un problema, una jerarquía bien construida es un subproducto del enfoque general del AHP y suelen ser muy similares entre sí. (Saaty, 1997).

### **3.4.2 Establecimiento de prioridades entre los criterios.**

En este momento se ha de construir un vector de prioridades que evalúa la importancia relativa de los criterios, mediante el método matemático descrito en el apartado 3.3. Con la matriz R de juicios por comparación binaria entre los criterios se calcula el vector w de pesos de los criterios, que indica la prioridad o importancia relativa de unos criterios respecto a los demás.

La matriz R se compone con los datos aportados por los decisores o expertos que realizan las evaluaciones, usando la escala mostrada anteriormente. Es habitual el uso de formularios para realizar la toma de datos, con la escala verbal, más fácil de comprender por las personas sin formación en el método AHP.

Se ha de tener especial cuidado en que los elementos del mismo nivel sean del mismo orden de magnitud puesto que si la disparidad entre ellos es muy grande deben pertenecer a diferentes niveles, anclándose los niveles con elementos frontera, que sean él más pequeño en el orden de magnitud grande y él más grande en el orden de magnitud pequeño, (Saaty, 1997).

### **3.4.3 Establecimiento de prioridades entre las alternativas.**

En este paso se establecen prioridades a nivel de la jerarquía de alternativas, para cada criterio se plantea la matriz R de juicios por comparación binaria de alternativas, se establece el nivel de prioridad de una alternativa frente a otra el grado de cumplimiento o satisfacción del criterio, una vez planteada la matriz se calcula el autovalor máximo correspondiente, el autovector asociado y el índice de consistencia de los juicios.

Una vez realizadas estas operaciones para cada criterio se obtiene la matriz de prioridades de las alternativas.

	CRITERIOS					
	C <sub>1</sub> (w <sub>1</sub> )	C <sub>2</sub> (w <sub>2</sub> )	...	C <sub>j</sub> (w <sub>j</sub> )	...	C <sub>n</sub> (w <sub>n</sub> )
A <sub>1</sub>	x <sub>11</sub>	x <sub>12</sub>	...	x <sub>1j</sub>	..	x <sub>1n</sub>
A <sub>2</sub>	x <sub>21</sub>	x <sub>22</sub>	...	x <sub>2j</sub>	...	x <sub>2n</sub>
...	...	...	...	...	...	...
A <sub>h</sub>	x <sub>h1</sub>	x <sub>h2</sub>	...	x <sub>hj</sub>	...	x <sub>hn</sub>

Donde:

W es el vector de pesos o prioridades relativas asociados a los criterios.

X es el vector de prioridades de las alternativas en base al criterio XX.

[x<sub>i</sub>] es el vector de prioridades asociado a la alternativa X<sub>i</sub> cuyas componentes son las prioridades asociadas a esta alternativa según cada uno de los criterios.

### 3.4.4 Generación de prioridades globales para cada alternativa.

Con todo lo anterior se establece un vector global P de prioridades que agrega las prioridades obtenidas en las dos jerarquías consideradas, los componentes P<sub>i</sub> de este vector son las prioridades globales asociadas a cada alternativa X<sub>i</sub>. Cada componente de este vector se calcula según la expresión.

$$P_i = \sum_{j=1}^n x_{ij} p_j$$

Los valores de los pesos obtenidos muestran la importancia concedida a una alternativa sobre las otras con respecto a la suma ponderada de todos los criterios considerados.

### 3.5 Inversión de rango y ajuste de escalas.

En el método AHP la selección de la escala de medida no es arbitraria sino que la selección de la escala puede afectar mucho que alternativas dominan sobre otras y, con los mismos datos de partida originales generar ordenaciones diferentes.

El uso de escalas absolutas u ordinales no es adecuado para obtener datos útiles para las comparaciones, un sobrecoste en una obra de 1.000 € es despreciable en una obra de 1 M€ y muy importante en una de 3.000 €, por lo que Saaty y en general el método AHP ha de aplicar escalas relativas, aunque estas se pueden basar en las escalas absolutas cuando se disponga de datos fiables, en el estudio de propiedad subjetivas las escalas han de ser relativas.

(Saaty, 1990) define que una escala relativa para una propiedad se genera para un conjunto específico de objetos o entidades, con lo que los cambios del conjunto

cambian la escala de medida, mientras que una escala absoluta es independiente y su significado no cambia al variar el conjunto sobre el que se aplica.

Podemos usar medidas absolutas para priorizar alternativas si usamos las medidas en términos de categorías, intensidades o grados del criterio. Se crean unas categorías (Muy alto, alto, medio, bajo, etc..) y estas se priorizan entre sí respecto al criterio considerado. A cada alternativa se la clasifica dentro de una de las categorías descritas para cada criterio, agregándose después las prioridades globales y obteniéndose una escala ratio para las alternativas.

Este sistema permite comparar conjuntos de alternativas sin tener que estudiar las alternativas entre sí.

En cualquier método de decisión u ordenación es necesario asegurar que no se producen inversiones de rango no controladas. La inversión de rango no es aceptable si las alternativas son independientes entre sí y una nueva alternativa no introduce nuevos criterios ni cambia los pesos de los criterios existentes, (Wijnmalen y Wedley, 2009), como ocurre en el AHP si se usan medidas distributivas, pero si se usan medidas absolutas estas mantendrán el rango con respecto a un criterio si las comparaciones son consistentes.

Dentro del AHP se puede realizar las comparaciones con dos modos, el modo ideal y el distributiva.

En el modo distributivo se usa normalización al dividir por la suma de las prioridades de las alternativas para así definir el modo distributivo.

En el modo ideal se compara cada alternativa con la ideal, a la que se da un peso de 1. Las diferentes alternativas podrían caer bajo o sobre la ideal, llegando en este caso a ser la ideal, de esta forma, una alternativa que cae por debajo del ideal para todos los criterios no puede afectar a la clasificación de la mejor alternativa elegida.

Según experimentos realizado por (Saaty y Vargas, 1993) ambos métodos coinciden en hallar la mejor alternativa en un 92% de las veces.

En nuestro caso se ha considerado usar el método ideal porque el caso que se está planteando se busca una ordenación de las alternativas para priorizar, ya que, según (Saaty, 1997) el modo ideal ahorra tiempo en la clasificación de un gran número de alternativas y permite visualizar más fácilmente la preferencia. El caso de estudio de este trabajo se ajusta perfectamente al uso de modo ideal.

En el método AHP todas las alternativas y todos los criterios son relevantes por naturaleza y solo se muestran irrelevantes cuando la variación entre los valores de las diferentes alternativas son tan bajas que no provocan cambios en el rango ni con pesos relativos del criterio elevados y aun así, al introducir en el conjunto de alternativas una alternativa con valoración alejada de las demás la importancia relativa del criterio crecería y podría producir inversión de rango. Por ello es importante estudiar la variación de valoraciones de las alternativas frente a los criterios y realizar análisis de sensibilidad de los resultados.

El AHP permite conocer qué proyecto es más rentable con respecto a varios criterios pero no si será económicamente rentable. El método se puede usar para ordenar y evaluar la distancia en cuanto a idoneidad pero no mide de forma absoluta, un proyecto

malo será el mejor de un grupo de muy malos pero seguirá siendo malo de forma absoluta.

#### 4. Técnica de clasificación Post-Hoc. Algoritmo de las K-medias

Uno de los problemas principales que nos encontramos al plantear este sistema de ayuda a la decisión es el alto número de actuaciones alternativas posibles. Por un lado tenemos muchos tramos de vía sobre los que actuar y por el otro, muchas alternativas posibles en cada tramo. Ante la imposibilidad práctica de poder analizar todas las actuaciones en un tiempo aceptable se ha decidido usar una técnica de clasificación para obtener grupos homogéneos y reducir el campo de selección con una reducción mínima de la información.

El método elegido para la clasificación, es el algoritmo de la K-medias, un método no jerárquico, en el que elegimos a priori el número de grupos en el que vamos a dividir los datos. Se ha usado este método por que, al no conocer a priori como pueden ser las agrupaciones, nos permite estudiar como se agrupan los casos de forma natural. Este es el método recomendado para grandes tablas de datos como este caso y permiten detectar los casos atípicos.

Este algoritmo parte de unas medias arbitrarias y mediante pruebas sucesivas, contrasta el efecto que sobre la varianza residual tiene la asignación de cada uno de los casos, definiéndose como caso a cada tramo de línea ferroviaria, según los valores de todos los parámetros definidos anteriormente, a cada uno de los grupos. El valor mínimo de varianza determina una configuración de nuevos grupos con sus respectivas medias. Se asignan otra vez todos los casos a los nuevos centroides en un proceso que se repite hasta que ninguna transferencia puede ya disminuir la varianza residual, o se alcance otro criterio de parada, sea el número máximo de iteraciones o que la diferencia obtenida entre los centroides de dos pasos consecutivos sea menor que un valor prefijado.

El procedimiento configura los grupos maximizando la distancia entre los centros de gravedad. Como la varianza total es fija, minimizar la residual hace máxima la factorial o intergrupos, y puesto que minimizar la varianza residual equivale a conseguir que sea mínima la distancia al cuadrado desde los casos a la media del cluster al que van a ser asignados, es esta diferencia euclídea al cuadrado la usada por el método.

La distancia euclídea al cuadrado, se calcula como:

$$d(i, j)^2 = \sum_k (x_{ik} - x_{jk})^2$$

Los casos se comprueban secuencialmente para ver su influencia, con lo que el orden de los mismos en la tabla puede afectar a la ordenación de los grupos. El método muestra una solución final única con menos iteraciones en cuanto más cerca estén las medias de arranque de las que van a ser finalmente obtenidas. Inicialmente se hace la clasificación con un número elevado de grupos, detectándose los casos extremos de grupos con muy pocos elementos y la evolución de la integración de los elementos atípicos en los grupos mayores. El resultado obtenido son K clases o clusters con una única partición sin organización jerárquica ni relaciones entre ellos, pero con la mínima distancia entre los valores de sus parámetros y máxima similitud. En este método se le da la misma importancia a todos los parámetros volviéndose más decisivos los que tengan más variación en el total de casos estudiados.

## **5. Caso de Estudio. Gerencia de Mantenimiento de Valencia. ADIF.**

Una vez planteado el problema general, el caso particular que se estudia en este trabajo es una parte del problema general de ADIF.

Las actuaciones de mejora se realizan en toda la red, con la toma de decisiones centralizada a propuesta de los gestores locales de cada ámbito. No existe un método formal de decisión de las actuaciones a desarrollar que documente el proceso. Este se basa en la experiencia de los técnicos y gestores y de la disponibilidad presupuestaria para actuaciones de libre elección por parte de ADIF. La gestión del mantenimiento de ADIF se lleva a cabo desde Gerencias distribuidas por el territorio, existiendo 12 Gerencia de Mantenimiento en todo el territorio nacional.

Este trabajo se ha centrado en el ámbito de la gerencia de mantenimiento de Valencia, que se extiende por las provincias de Valencia, Castellón, Teruel y parte de Tarragona, según se puede ver en el anexo 2. La selección de esta ha tenido en cuenta varias razones:

- El autor trabaja en esta gerencia y tiene fácil acceso a toda la documentación técnica requerida.
- El autor conoce las instalaciones y es capaz de proponer y evaluar las actuaciones posibles en este ámbito.
- El gerente se ha prestado para realizar la función de decisor para priorizar los criterios y categorías.
- Es una muestra lo suficientemente grande y variada como para poder extrapolar resultados a toda la red ferroviaria.

El número de proyectos de actuaciones de mejora posibles siempre es mayor que los recursos disponibles para ejecutarlos, siendo además muchas veces incompatibles entre sí, por lo que es necesario algún sistema de selección entre ellos.

El problema en sí mismo es complejo por la existencia de múltiples factores que afectan a la idoneidad de los proyectos, como son:

- Múltiples criterios a considerar.
- Criterios objetivos y subjetivos.
- No se ha encontrado una función de utilidad que lo registre todo objetivamente.
- Campo de proyectos discreto pero muy extenso.
- Múltiples objetivos de actuación de los proyectos.
- Dependencia de unos proyectos sobre otros.

La selección de una cartera de proyectos depende tanto del proyecto en sí como de su ámbito de aplicación, siendo la idoneidad muy diferente según la zona de implantación. Los proyectos están sujetos a incertidumbres de costo, plazo y calidad en su ejecución e implementación. La utilidad o satisfacción de los criterios una vez realizado también es variable, aun en los criterios objetivos estimados en base a proyectos similares o previsiones. El coste de modelar la influencia de los proyectos o actuaciones sobre las infraestructuras es similar al de redacción del proyecto, sin eliminar completamente las incertidumbres, ya que estas dependen de factores externos no controlables por el gestor de la instalación.

En todo problema de selección partimos de que se puede elegir realizar o no el proyecto, cosa que no siempre es posible, en este trabajo en todo caso se considera que las actuaciones son opcionales, por lo que, actuaciones que surjan a partir de cambios normativos o decisiones de nivel superior no se consideraran ya que si la actuación ha de realizarse obligatoriamente no hay toma de decisión posible.

Las infraestructuras ferroviarias son instalaciones caras, complejas, de alto coste y larga vida útil, de difícil transformación una vez realizadas, por lo que cualquier cambio resulta costoso en tiempo y recursos, López, (2006). Como ejemplo se podría citar el costo que tendría cambiar el ancho de toda la red ferroviaria española convencional, similar al de reconstruir todas las líneas, puesto que habría que rehacer todos los puentes, túneles, viaductos, andenes etc.. Esto combinado con que, en gran parte del mundo los recursos utilizados son públicos obliga a los gestores de infraestructuras a ser lo mas objetivos y transparentes en sus decisiones y a utilizar un sistema de apoyo a la decisión que sea transparente y claro en cuanto a los criterios utilizados y a la valoración de las alternativas. El uso de sistemas de decisión multicriterio permite asegurar la trazabilidad de las decisiones tomadas.

Existen múltiples posibilidades para apoyar la toma de decisiones en los casos anteriores, desde el actualmente usado en ADIF, la experiencia y el criterio directo de los expertos, sin realizar ningún tipo de análisis comparado, o sistemas basados en la suma ponderada de puntuaciones directas de los proyectos en base a criterios básicos objetivos.

El sistema de selección objetivo de este trabajo debe permitir poder evaluar los proyectos de mejora de las instalaciones existentes, de forma que en función de unos criterios y su importancia, se puedan comparar y hacer una lista organizada de proyectos a ejecutar.

El tener una cartera de proyectos evaluada de forma homogénea, permite explicar las decisiones de forma racional y objetiva, aun partiendo de las subjetividades de los decisores, que se hacen explícitas en el proceso de decisión.

La estructura del sistema de apoyo a la decisión es la siguiente, basándonos en Aragonés-Beltrán et al, (2010):

- Análisis del problema de decisión.
- Identificación de los criterios.
- Identificación de la cartera de alternativas.
- Desarrollo del modelo jerárquico.
- Ponderación de criterios y alternativas.
- Evaluación de los resultados.
- Análisis de sensibilidad de los resultados obtenidos.

Cada una de estas fases se ha desarrollado en el correspondiente apartado de este capítulo del trabajo.

## **5.1 Análisis del problema de decisión.**

La necesidad de formalizar una jerarquía de criterios permite separar un problema complejo en varios niveles, donde cada posible grupo de personas o expertos que participan en el proceso de toma de decisiones puede tener sus propias preocupaciones y definiciones de las perspectivas, permitiendo agregar las valoraciones de los diferentes grupos mediante una media geométrica de las valoraciones, generándose una solución de consenso de esta manera. (Saaty, 1997).

El problema de decisión que se pretende ayudar a resolver es el siguiente “Dada una infraestructura ferroviaria determinada y una cartera de actuaciones sobre ella, ¿Cuál es la prioridad entre ellos en base a la satisfacción de los criterios definidos?”

Para poder resolver esta pregunta es necesario conocer los criterios, su importancia, la relación entre ellos y la valoración de cada proyecto respecto a los criterios.

### **5.1.1 Identificación de los criterios considerados.**

Para cualquier valoración de alternativas es necesario definir los criterios que se van a emplear para valorarlas. Es fundamental, primero, definir qué criterios se van a usar y como se va a evaluar el cumplimiento de dichos criterios por las alternativas. En este trabajo se ha optado por una agrupación de criterios por campos, definiéndose primero los criterios generales y dentro de estos los subcriterios específicos

Los criterios generales considerados se han seleccionado en base a criterios considerados en casos de análisis similares de la bibliografía, como son Tsmaboulas (2007) o Haluk Gerçek et al (2004). En base a estos casos y a los objetivos definidos, tanto por el ministerio de Fomento como por ADIF en su política de empresa y gestión de la red ferroviaria, como se especifica en el contrato programa ADIF-Estado (2007: Pág. 5). La lista de criterios y subcriterios se genero por consenso entre el decisor y el autor.

Entre las directrices específicas de la política sectorial de ferrocarriles se encuentran las siguientes.

- Atención prioritaria al mantenimiento de la red ferroviaria, con la mejora de su gestión, mediante la dotación de los recursos necesarios, estimados con criterios de seguridad y eficacia, y la implementación de un sistema actualizado de mantenimiento integral y preventivo.
- Garantizar niveles adecuados de seguridad de la red, mediante una adecuada conservación y modernización, y asegurar su mantenimiento en el tiempo. A corto plazo, para corregir la actual descapitalización de la red convencional, se pondrán en marcha varios programas de actuación prioritaria en materia de conservación, supresión y mejora de la seguridad de pasos a nivel.”

Se han tomado también como referencia la misión, visión y los valores de la empresa.

**Visión** "situar a ADIF como organización de referencia en la innovación e integración de los sistemas de gestión, basados en la gestión excelente y el compromiso social, entre los gestores de infraestructuras europeos".

**Misión** "potenciar el sistema de transporte ferroviario español mediante el desarrollo y la gestión de un sistema de infraestructuras seguro, eficiente, sostenible desde el punto de vista económico y medioambiental, y con altos estándares de calidad".

#### **Valores**

Exigencia en la gestión:

Lo que supone gestionar los recursos públicos con criterios de máxima eficiencia, fomentar la creatividad y la iniciativa individual y tomar decisiones orientadas a los clientes y a los resultados, sin menoscabo de las funciones de un servicio público.

Compromiso en la actuación:

Lo que exige buscar la excelencia en todos los procesos y sistemas, innovar en las tecnologías y sistemas de gestión, y dar prioridad a la seguridad como el mayor compromiso de ADIF.

Transparencia y responsabilidad social:

Lo que implica tener en cuenta la protección del medioambiente y promover el desarrollo sostenible, conciliar la vida familiar y laboral asegurando la igualdad de oportunidades y servir al interés general con objetividad, transparencia y prácticas de buen gobierno.

En base a todo lo anterior, se considera que los grupos de criterios a considerar son:

1. Criterios de Seguridad en la circulación.
2. Criterios de Eficiencia en la explotación.
3. Criterios de Eficiencia Técnica.
4. Criterios de Utilidad Social.
5. Criterios de Eficiencia económica
6. Criterios de Sostenibilidad medioambiental.
7. Criterio de Tramo de vía.

Definimos a continuación los grupos de criterios y los subcriterios considerados.

#### **5.1.2 Criterios de seguridad en la circulación.**

Los criterios de seguridad en la circulación describen el efecto de la actuación considerada sobre la seguridad en la circulación del tramo en estudio.

La seguridad en la circulación se divide en dos grandes campos, seguridad en la explotación y el funcionamiento de los trenes y la seguridad de las personas por el efecto del ferrocarril.

La seguridad en la explotación la dan todas las actuaciones que reduzcan la posibilidad o la gravedad de un malfuncionamiento del tren que pueda provocar un descarrilamiento o un choque entre trenes. La seguridad de las personas por el efecto del ferrocarril se emplaza principalmente en el campo de los arrollamientos, donde cualquier actuación que reduzca las posibilidades de arrollamiento en la vía, de forma pasiva o activa, tanto

en un paso a nivel como en cualquier otro lugar de la red, tendrá una actuación positiva sobre este criterio.

Los subcriterios que se han desarrollado son:

#### **Reducción del numero de pasos a nivel.**

Los pasos a nivel son los elementos donde se pueden producir mas accidentes debido a ser el punto de cruce de la infraestructura ferroviaria de los peatones, animales y otros vehículos. Cualquier reducción en él numero de pasos a nivel reduce las posibilidades de accidentes en cuanto desaparece el punto de cruce como tal. Se ha demostrado el importante efecto reductor de incidencias en los archivos históricos de mantenimiento correctivo de ADIF y en artículos como Thomas et al (2006).

Las categorías consideradas son las siguientes:

Total: Tras la actuación no queda ningún paso a nivel en el tramo considerado.

Significativa: Se reduce él numero de pasos a nivel pero aun queda al menos uno en servicio.

Parcial: Se reduce él numero de pasos a nivel pero quedan varios en servicio en el tramo.

Indiferente: Él numero de pasos a nivel permanece constante tras la actuación.

Aumento: Tras la actuación aumenta él numero de pasos a nivel en el tramo estudiado.

#### **Mejora de la señalización de pasos a nivel.**

Por las mismas razones que lo anterior en cuanto se mejora la señalización del paso a nivel disminuyen las posibilidades de un accidente en este, Thomas et al (2006) estima que el riesgo de un accidente en el ferrocarril se localiza en un 44,9% en los pasos a nivel, la mejora depende del tipo de señalización instalada anteriormente y el nuevo tipo de señalización.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Muy alta: El cambio en la señalización es muy elevado pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: El cambio en la señalización es muy alto, pero no tan elevado como en el caso anterior.

Significativa: El cambio es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a la señalización de los pasos a nivel.

Reducción: La señalización de los pasos a nivel disminuye de calidad.

#### **Mejora de los sistemas de ayuda a la conducción.**

Dentro de los sistemas de ayuda a la conducción se incluyen los sistemas de apoyo al maquinista y todos los componentes del sistema de señalización. En este caso los sistemas que supervisan la temperatura de los ejes y los detectores de impacto en la rueda, de reciente implantación, también se consideraran sistemas de ayuda a la conducción, por cuanto detectan el malfuncionamiento de un equipo del tren, que sin supervisión podría provocar una avería grave.

Cualquier actuación que genere un cambio del sistema de ayuda a la conducción existente o que incorpore en este nuevas funcionalidades tendrá influencia sobre este criterio.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Muy alta: La mejora en los sistemas de ayuda a la conducción es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: El cambio en los sistemas de ayuda a la conducción es muy alto, pero no tan elevado como en el caso anterior.

Significativa: El cambio es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a la calidad de los sistemas de ayuda a la conducción.

Reducción: Desaparecen sistemas de ayuda a la conducción existentes.

### **Automatización de Itinerarios y bloqueos.**

Existen actuaciones que, sin realizar ningún cambio en la infraestructura propiamente dicha, es decir la vía y la catenaria, pueden mejorar la rapidez de la gestión de ésta, por ejemplo la instalación de sistemas automatizados de explotación de los enclavamientos de las estaciones, todo tipo de mejoras que permitan aumentar el número de trenes y su velocidad mediante modificaciones en las instalaciones de señalización, (por ejemplo el paso de bloqueo telefónico a bloqueo automático o la puesta en marcha de banalizaciones en vías dobles).

En general los sistemas de automatización de itinerarios y bloqueos permiten aumentar la seguridad de la explotación al reducirse el número e importancia de los errores humanos y aumentar la utilidad de la instalación manteniendo o aumentando los niveles de seguridad.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Muy alta: El cambio en la automatización es muy elevado pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: El cambio en la automatización es muy alto, pero no tan elevado como en el caso anterior.

Significativa: El cambio es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a la automatización de itinerarios y bloqueos.

### **5.1.3 Criterios de eficiencia en la explotación.**

Estos criterios describen el efecto de las actuaciones que permitan aumentar el número de trenes/pasajeros que usan la red debido a mejoras técnicas o de gestión, así como la reducción del coste energético del transporte, no se tienen en cuenta medidas que afecten al material móvil ni a las estaciones en cuanto a su accesibilidad ni accesos desde los núcleos urbanos.

Dentro de estos criterios se considerara la reducción del consumo de energía, la reducción de los tiempos de desplazamiento, reducciones de los cuellos de botella y optimización de la red y de su uso.

Se tendrá en cuenta tanto el funcionamiento de la instalación durante la actuación como una vez finalizada esta.

Los subcriterios que se han desarrollado son:

### **Reducción de los tiempos de viaje.**

Las actuaciones que mejoran los trazados, suavizando curvas o rampas y eliminando tramos innecesarios permiten reducir los tiempos de viaje, con lo que se aumenta la capacidad de la infraestructura. Esta mejora es más importante cuanto más se reduzca el tiempo de viaje, por lo que estas mejoras serán más importantes en los tramos de línea con limitaciones de velocidad significativas. También se reduce el tiempo de viaje en cuanto se montan desvíos preparados para su paso a velocidades lo más cercanas a la nominal de la línea posible. Este criterio es importante puesto que, como se demuestra en Fitzroy y Smith (1995), la demanda de transporte y la satisfacción de los viajeros aumenta la disminuir el tiempo de viaje.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 20%: Se reduce el tiempo de viaje en el tramo en condiciones normales en un 20% o más.

Mayor 10%: Se reduce el tiempo de viaje en el tramo en condiciones normales en un 10% o más.

Mayor 5%: Se reduce el tiempo de viaje en el tramo en condiciones normales en un 5% o más.

Menor 1%: Se reduce el tiempo de viaje en el tramo en condiciones normales en menos de un 1%, los cambios son mínimos.

Reducción: El tiempo de viaje en el tramo aumenta.

### **Reducción del cantón crítico.**

Como cualquier infraestructura o proceso lineal, la capacidad de todo el tramo está limitado por la capacidad de la parte más débil, que es el cuello de la botella del tramo y el que marca la capacidad máxima. Toda actuación que reduzca el cantón crítico, pero no a coste de generar otro de menor capacidad, aumentará la capacidad de la red y reducirá la criticidad de éste, reduciéndose el número de trenes retrasados, el retraso de estos y aumentando la rapidez de la red en recuperar su situación óptima. Thomas et al (2006) expone la preferencia de los usuarios a un sistema de alta fiabilidad frente a aumentos de la velocidad media o del número de frecuencias y Schöbel (2009) muestra la importancia de la concatenación de retrasos entre los trenes.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 20%: Se reduce la longitud del cantón crítico en condiciones normales en un 20% o más.

Mayor 10%: Se reduce la longitud del cantón crítico en el tramo en condiciones normales en un 10% o más.

Mayor 5%: Se reduce la longitud del cantón crítico en el tramo en condiciones normales en un 5% o más.

Menor 1%: Se reduce la longitud del cantón crítico en el tramo en condiciones normales en menos de un 1%, los cambios son mínimos.

Reducción: la longitud del cantón crítico en el tramo aumenta.

**Aumento del número de circulaciones.**

Toda actuación que permita aumentar el número de circulaciones por un tramo aumenta la eficacia o productividad de las instalaciones de una forma directa, siendo este factor el más fácil de evaluar de todos los anteriores.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 100%: Aumenta el número de circulaciones posibles en condiciones normales en un 100% o más.

Mayor 50%: Aumenta el número de circulaciones posibles en el tramo en condiciones normales en un 50% o más.

Mayor 20%: Aumenta el número de circulaciones posibles en el tramo en condiciones normales en un 20% o más.

Menor 10%: Aumenta el número de circulaciones posibles en el tramo en condiciones normales en menos de un 10%, los cambios son mínimos.

Reducción: El número de circulaciones posibles en el tramo disminuye

**Mejora de los sistemas de explotación.**

Toda instalación tiene unas características de explotación máxima teórica, que nos marca la máxima velocidad a la que pueda circular un tren (por las limitaciones propias de este y de la infraestructura) y la distancia mínima entre ellos, la distancia de frenado. Todo cambio en el sistema de regulación de la explotación que permita acercar la explotación real a la máxima teórica resulta importante para aumentar la capacidad y reducir los retrasos causados por la acumulación de trenes. Uno de los ejemplos clásicos es la instalación de señales indicadoras de velocidad en agujas de estaciones.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Muy alta: La mejora en los sistemas de explotación es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: La mejora en los sistemas de explotación es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

Significativa: El cambio es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a los sistemas de explotación.

**5.1.4 Criterios de Eficiencia Técnica.**

Este grupo de criterios engloba a todos los factores, que aunque no impliquen un cambio en la operación realizada por la instalación permiten que esta realice su función mas adecuadamente, como por ejemplo, todos los cambios que permiten reducir el número de actuaciones de mantenimiento correctivo, que alarguen la vida útil de los equipos instalados y que faciliten la diagnosis y el mantenimiento preventivo de las instalaciones. Dentro de estos criterios se valorara también las ganancias en fiabilidad del sistema en situaciones degradadas y en general todo lo que posibilite que el sistema funcione al máximo nivel de calidad durante el mayor tiempo posible al mínimo costo.

Los criterios considerados son:

**Reducción en el número de incidencias.** Este criterio evalúa la reducción en el número de incidencias anuales que generaría la actuación, el número de incidencias penaliza el funcionamiento de la instalación, aunque sean menores y de poca importancia, ya que implican un alto coste de oportunidad, porque suponen el desplazamiento de personal operativo para la actuación correctiva, desplazándose de sus funciones de preventivo y dejando de estar disponibles para otra actuación correctiva. Por ello cualquier actuación que permita reducir el número de incidencias, tanto menores como graves, mejorará los tiempos de respuesta y la productividad del mantenimiento preventivo.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 50%: Se reduce el número de incidencias en un 50% o más.

Mayor 20%: Se reduce el número de incidencias en un 20% o más.

Mayor 10%: Se reduce el número de incidencias en un 10% o más.

Menor 1%: Se reduce el número de incidencias en menos de un 1%, los cambios son mínimos.

Aumento: El número de incidencias aumenta.

**Reducción de los retrasos.** Las actuaciones también pueden modificar no el número de incidencias sino la importancia de éstas, la mejor forma de evaluar la importancia de una incidencia, descartando temas de seguridad, que por su importancia se evalúan de forma independiente, es categorizarlas por el retraso que generan en la circulación. Por esto se evaluará la reducción en los tiempos de retraso que genere una actuación. Esta reducción puede venir por dos caminos: la reducción del número de averías, aunque se mantenga el retraso medio en éstas, o la reducción del retraso medio generado por la incidencia, manteniendo el número de averías. Como es lógico también existen situaciones intermedias, que generan reducciones de los retrasos.

Además, con este criterio se evalúa en parte la incidencia de la avería sobre la circulación, en función del nivel de capacidad usado de la infraestructura, ya que una línea infrautilizada, por mucho que se mejoren las características de esta, no sufrirá una reducción significativa de los retrasos, sin embargo una línea saturada, en la que cualquier incidencia genera muchos retrasos, con la misma modificación, reducirá en mucho sus retrasos.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 50%: Se reducen los minutos de retraso en un 50% o más.

Mayor 25%: Se reducen los minutos de retraso en un 25% o más.

Mayor 10%: Se reducen los minutos de retraso en un 10% o más.

Menor 5%: Se reducen los minutos de retraso en menos de un 5%, los cambios son mínimos.

Aumento: El número de minutos de retraso aumentan.

### **Reducción de los costes de Mantenimiento.**

Los costes de mantenimiento tienen varios componentes, que se evalúan de forma conjunta en este criterio, los componentes son:

- Horas de mano de obra en mantenimiento preventivo
- Horas de mano de obra en mantenimiento correctivo
- Material a renovar durante el mantenimiento correctivo
- Material a renovar durante el mantenimiento preventivo

- Costes de explotación de la infraestructura
- Coste de oportunidad del mantenimiento

Todos estos componentes sufren alteraciones cada vez que se realiza alguna actuación que cambia las características de la instalación. Los 4 primeros criterios son autoexplicativos, sin embargo los siguientes se explican a continuación:

- El coste de explotación de la infraestructura es el coste de mantener operativa la instalación en condiciones normales, principalmente costes de energía, aunque también incluye el de personal de supervisión o vigilancia que esté asociado a estas operaciones, principalmente: personal de Telemandos en líneas modernas y en líneas más antiguas, el personal vinculado a puestos fijos, como los guardabarreras o ayudantes ferroviarios.
- El coste de oportunidad del mantenimiento define los costes indirectos que genera una actuación de mantenimiento, principalmente los debidos a la indisponibilidad de la instalación durante su revisión o reparación y el problema que esto genera a la explotación. Cualquier medida que permita funcionar a la instalación, aun en condiciones degradadas durante el mantenimiento mejorará los costes del mantenimiento de esta línea.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 50%: Se reducen los costes de mantenimiento en un 50% o más.

Mayor 25%: Se reducen los costes de mantenimiento en un 25% o más.

Mayor 10%: Se reducen los costes de mantenimiento en un 10% o más.

Menor 1%: Se reducen los costes de mantenimiento en menos de un 1%, los cambios son mínimos.

Aumento 10%: Los costes de mantenimiento aumentan mas del 10%.

Aumento 20%: Los costes de mantenimiento aumentan mas del 20%.

**Mejora de la diagnosis del equipamiento.** Uno de los principales problemas que reviste el mantenimiento ferroviario, y el mantenimiento en general, es la identificación del defecto original, ya que lo que inicialmente se descubre son las consecuencias y solamente tras hacer una investigación se llega a las causas, aunque no siempre se identifican las causas últimas sino solo las causas parciales. La implementación de sistemas o la adaptación de lo existente para facilitar la diagnosis de la situación en tiempo real es una de las mejores actuaciones posibles de cara a mejorar significativamente la respuesta y la efectividad del mantenimiento. Estas actuaciones tienen un efecto transversal sobre el resto de los criterios de eficiencia técnica pero tiene tal importancia que conviene estudiarlo como criterio independiente.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mucha Mejora: La mejora en la diagnosis es muy alta, pasamos de no poder realizar análisis previos a poder evaluar el estado de la instalación.

Mejora elevada: La mejora es muy alta, aunque ya existían sistemas básicos de diagnosis.

Mejora significativa: Se mejora la diagnosis de forma importante pero sin grandes cambios para con lo existente.

Mejora despreciable: La diagnosis se ve afectada por la actuación pero no de forma importante.

Reducción: Perdemos capacidad de diagnosis del estado de los equipos a mantener.

### 5.1.5 Criterios de Utilidad social.

Dentro de este grupo de criterios se considerara el efecto que tienen las actuaciones sobre la utilidad social de la red ferroviaria, en su función de comunicación de núcleos de población y el efecto del ferrocarril sobre la estructura de las ciudades.

Dentro de la utilidad social se considerara el efecto del cambio de las frecuencias y tiempos de viaje, ya que como se muestra en Fitz-Roy (1995), es uno de los componentes claves para aumentar la demanda de transporte por ferrocarril.

**Mejora de las comunicaciones entre los municipios.** Al estar evaluando una red de ferrocarril pesado o clásico, el principal efecto de comunicaciones es entre municipios, al contrario que en los metropolitanos o tranvías que realizan funciones principalmente intramunicipios. Toda actuación que permite mejorar el número de frecuencias de trenes, la reducción de los tiempos de viaje o en general, la capacidad de transporte desde y hasta los municipios vinculados a la línea, tendrá una utilidad social significativa, más significativa cuanto mayor sea el cambio de disponibilidad de transporte entre la situación inicial y final.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Muy alta: La mejora en las comunicaciones es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: La mejora en las comunicaciones es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

Significativa: El cambio las comunicaciones es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a las comunicaciones

Reducción: Se reducen las comunicaciones entre los municipios.

**El aumento de la seguridad vial del entorno** es otro de los criterios a tener muy en cuenta, ya que la reducción de accidentes causados directa o indirectamente (mucho mas comunes) por las infraestructuras ferroviarias es uno de los temas centrales en toda la política de gestión de ADIF y de las administraciones ferroviarias en general. Este punto además es uno de los que menos vinculado está a grandes decisiones de planificación de líneas de todas las funciones de utilidad social del ferrocarril.

Las categorías consideradas son:

Muy alta: El aumento de la seguridad vial es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: El aumento de la seguridad vial es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

Significativa: El aumento de la seguridad vial es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a la seguridad vial.

Reducción: Se reduce la seguridad vial entre los municipios.

**Mejora de la permeabilidad urbana.** El efecto barrera que genera la infraestructura ferroviaria, sobre todo en superficie, es uno de los principales efectos negativos del ferrocarril sobre las poblaciones por las que pasa. por ello todas las actuaciones que reduzcan este efecto o lo atenúen en gran medida, permitirán que, a igualdad del resto

de condiciones, la percepción del ferrocarril sea mejor por parte de la población, tanto de los usuarios como de los que no los son.

Las categorías consideradas son:

**Muy alta:** El aumento de la permeabilidad urbana es muy elevado pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

**Alta:** El aumento de la permeabilidad urbana es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

**Significativa:** El aumento de la permeabilidad urbana es muy importante pero no extremo.

**Despreciable:** Aunque existen cambios no afectan en gran medida a la permeabilidad urbana.

**Reducción:** Se reduce la permeabilidad urbana entre los municipios.

### 5.1.6 Criterios de Eficiencia económica.

Con este grupo de criterios compararemos el coste que implica la actuación, tanto en explotación como en ejecución, valorando en el tiempo de amortización de esta y la influencia en el coste de otras mejoras futuras.

**Coste de la actuación de mejora.** De forma evidente es preferible que el coste de cualquier actuación sea lo más reducido posible, siendo preferible a igualdad de resultados la más barata.

Las categorías consideradas son:

**Mayor 45 Meuros:** La actuación tiene un coste de más de 45 millones de euros.

**Mayor 25 Meuros:** La actuación tiene un coste de más de 25 millones de euros.

**Mayor 15 Meuros:** La actuación tiene un coste de más de 15 millones de euros.

**Mayor 7 Meuros:** La actuación tiene un coste de más de 7 millones de euros.

**Mayor 3 Meuros:** La actuación tiene un coste de más de 3 millones de euros.

**Menor 3 Meuros:** La actuación tiene un coste de menos de 3 millones de euros.

**Coste de Mejoras subsiguientes.** Con este criterio tenemos en cuenta que una solución que a priori puede resolver una situación, puede implicar en el futuro sobre-costes muy elevados en tratamientos sucesivos o imposibilite reformas posteriores, convirtiéndose en una limitación importante para el futuro uso de la infraestructura. De forma inversa, toda actuación que permite ampliarse con un coste futuro más reducido será siempre más preferible a la que se ate a una solución.

Las categorías consideradas son:

**Muy alto:** El coste de mejoras subsiguientes es muy alto en proporción a la actuación.

**Alto:** El coste de mejoras subsiguientes es alto en proporción a la actuación.

**Importante:** El coste de mejoras subsiguientes es medio en proporción a la actuación.

**Despreciable:** El coste de mejoras subsiguientes es muy bajo en proporción a la actuación.

**Coste de explotación futura.** Este criterio se ha de minorar, de forma evidente, puesto que a igualdad de resultados es preferible un mínimo coste de explotación. La inclusión de este factor es importante puesto que no es común evaluar las actuaciones en base a su futuro coste de explotación, ya que soluciones muy complejas y avanzadas tienen un

alto coste de explotación, para generar unas funcionalidades potentes, que pueden no ser necesarias en la infraestructura en cuestión o se puede asumir un mayor coste de explotación a cambio de un aumento muy significativo de la funcionalidad.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 120%: El coste de explotación futura es mayor al 120% del coste actual.

Mayor 110%: El coste de explotación futura es mayor al 110% del coste actual.

Mayor 100%: El coste de explotación futura es mayor al 100% del coste actual.

Mayor 80%: El coste de explotación futura es mayor al 80% del coste actual.

Mayor 60%: El coste de explotación futura es mayor al 60% del coste actual.

Menor 50%: El coste de explotación futura es menor al 50% del coste actual.

**Tiempo de amortización de la actuación.** Con este criterio se evalúa la correcta adecuación de la actuación a las circunstancias de la línea. Este factor se debe minimizar y buscar siempre las actuaciones que tengan un plazo de amortización lo más bajo posible. En general en construcción ferroviaria, los plazos de amortización son muy largos con lo que una reducción media de estos plazos significa una importante reducción del coste económico y de optimización de recursos económicos.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 50 años: El tiempo de amortización es mayor de 50 años.

Mayor 30 años: El tiempo de amortización es mayor de 30 años.

Mayor 20 años: El tiempo de amortización es mayor de 20 años.

Mayor 10 años: El tiempo de amortización es mayor de 10 años.

Mayor 5 años: El tiempo de amortización es mayor de 5 años.

Menor 5 años: El tiempo de amortización es menor de 5 años..

### 5.1.7 Criterio de Sostenibilidad Medioambiental.

Este grupo de criterios tendrá en cuenta el efecto sobre el medio ambiente de la actuación, tanto durante la ejecución de esta como en el funcionamiento tras la actuación, dentro de estos criterios ambientales se incluyen tanto la contaminación directa como indirecta, el consumo de recursos y el efecto de la actuación en el ambiente de la zona aneja a la vía.

**Reducción de los contaminación acústica.** Uno de los principales problemas, tanto para la gente que vive en las inmediaciones de la vía, como para la fauna en las zonas rurales, es el ruido de los vehículos, que disminuye la calidad de vida percibida de las personas y afecta los hábitos vitales de la fauna. Kim et al (2005), Yuan et al (2006) y Brons et al (2003) por lo que toda actuación que reduzca el ruido, tanto emitido como percibido mejorará la integración ambiental del ferrocarril. Resulta mucho más importante el efecto en áreas urbanas, ya que son mayores las circulaciones y la presencia de personas en esos entornos.

Las categorías consideradas son:

Muy alta: La reducción de la contaminación acústica es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alta: La reducción de la contaminación acústica es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

Significativa: La reducción de la contaminación acústica es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida a la contaminación acústica generada.

Reducción: Se reduce la contaminación acústica entre los municipios.

**Mejora de la eficiencia energética.** Todas las actuaciones que reducen el consumo de energía, tanto en situación óptima como en degradada o faciliten su reducción, mejoran la eficiencia energética, reduciendo la huella ambiental del transporte y por ello mejoran su integración ambiental. Este tipo de actuaciones incluyen las mejoras en las subestaciones y/o catenaria, pero también la reducción de rampas y pendientes o el evitar actuaciones intempestivas de señales, que provocan frenadas de emergencia o innecesarias. También tienen este efecto las reducciones de limitaciones de velocidad, al reducirse el número de frenadas y aceleraciones. La importancia de todos estos factores en el consumo energético fue evaluada por García (2006) en función del tipo de servicio ferroviario y el estado de la infraestructura.

Las categorías consideradas son las siguientes:

Mayor 20%: Se reduce el consumo energético en condiciones normales en un 20% o más.

Mayor 10%: Se reduce el consumo energético en el tramo en condiciones normales en un 10% o más.

Mayor 5%: Se reduce el consumo energético en el tramo en condiciones normales en un 5% o más.

Menor 1%: Se reduce el consumo energético en el tramo en condiciones normales en menos de un 1%, los cambios son mínimos.

Reducción: El consumo energético en el tramo aumenta.

**Reducción Impacto ambiental durante la actuación.** Toda actuación tiene un efecto ambiental, de forma que cuanto menor sea éste mejor será valorado con respecto a este criterio. Esto incluye desde actuaciones con reducido efecto ambiental a métodos de ejecución de los trabajos más eficientes en términos ambientales y de afección a los espacios naturales.

Las categorías consideradas son:

Muy alto: La reducción del impacto ambiental es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

Alto: La reducción del impacto ambiental es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

Significativo: La reducción del impacto ambiental es muy importante pero no extremo.

Despreciable: Aunque existen cambios no afectan en gran medida al impacto ambiental generado.

Aumento: Aumenta el impacto ambiental durante la actuación.

**Reducción impacto ambiental FFCC.** Existen multitud de efectos ambientales menores que tiene el ferrocarril sobre la naturaleza, desde positivos, como por ejemplo, servir de cortafuegos y de vigilancia de incendios, a negativos, como el efecto barrera de la fauna. La valoración de todos estos efectos se realiza de manera conjunta en este

criterio, donde evaluamos el efecto a largo plazo de la explotación ferroviaria sobre el medio ambiente.

Las categorías consideradas son:

**Muy alto:** La reducción del impacto ambiental es muy elevada pasando de un bajo nivel al nivel máximo.

**Alto:** La reducción del impacto ambiental es muy alta, pero no tan elevada como en el caso anterior.

**Significativo:** La reducción del impacto ambiental es muy importante pero no extremo.

**Despreciable:** Aunque existen cambios no afectan en gran medida al impacto ambiental generado.

**Aumento:** Aumenta el impacto ambiental en explotación.

### **5.1.8 Criterio de tramo de vía.**

Según el análisis que se ha realizado en el apartado 5.2, hemos caracterizado los diferentes tramos de la línea en función de las características comunes a cada uno de ellos.

Esta agrupación de los diferentes tramos nos permite priorizar las actuaciones en función de la importancia de la línea, ya que no es lo mismo una línea secundaria o un ramal técnico que un tramo de línea troncal con mucho tráfico.

Este criterio no se divide en subcriterios sino que es un criterio directo de las características del tramo, los grupos que se han considerado son:

- Líneas troncales de buenas prestaciones.
- Líneas troncales con Pasos a Nivel.
- Líneas troncales de vía única.
- Líneas troncales de alta incidencia.
- Líneas secundarias.
- Ramales Técnico.

La definición de cada tramo se hace en el apartado 5.2, con lo que, en cada alternativa, se han de introducir las características de su tramo para poder definir el tipo de línea en el que se aplica la actuación.

### **5.1.9 Criterios no considerados.**

Aunque en la literatura existen otros múltiples criterios evaluados en situaciones de construcción de líneas de ferrocarril Brons et al (2009), Emberger et al (2008), Asmild et al (2009) Ribalagua et al, se han adoptado los anteriores en base a tres definiciones fundamentales.

- Análisis por los decidores expertos
- Criterios considerados explícitamente por ADIF en su contrato programa y misión y visión.

- Criterios afectables por el tipo de actuaciones posibles por parte de Mantenimiento de Red convencional.

Entre los criterios no considerados directamente en este análisis están los siguientes, extraídos de la literatura:

- Confort del viaje.
- Accesibilidad de la estación.
- Organización de la estación.
- Información dinámica a los viajeros.
- Igualdad e inclusión social.
- Contribución al crecimiento económico.
- Percepción del riesgo por los viajeros.

## **5.2 Agrupación de los tramos en grupos homogéneos.**

Uno de los problemas principales que nos encontramos al plantear este sistema de ayuda a la decisión es que entre los criterios fundamentales a tener en cuenta al evaluar cualquier actuación es el tramo de línea sobre el que se realiza la actuación. Este tramo tiene unas condiciones iniciales que limitan las posibles actuaciones sobre él y que son las que hacen variar el efecto de las actuaciones. El número de posibles tramos de línea sobre los que es posible aplicar las actuaciones de mejora es muy alto y el tener en cuenta y analizar de forma particular cada tramo resultaría muy complejo, además, dado que en general los tramos son muy similares entre sí, se ha estudiado la posibilidad de realizar una agrupación de los tramos en base a sus características comunes, de forma que en lugar de comparar todas las alternativas entre sí solo tengamos que comparar las agrupaciones de estas.

Definición de los tramos.

Los tramos de línea no se han definido en esta tesina sino se ha usado la misma clasificación que usa ADIF, para facilitar la aplicación del sistema de ayuda a la decisión en la empresa. Las características de las líneas que hemos considerado para definir las son todas las características técnicas que definen el funcionamiento y el uso que esta teniendo la línea.

Agrupación de tramos por características comunes:

Cada parámetro del tramo está expresado en diferentes unidades o definiciones, no conociéndose a priori las relaciones entre ambos. Para poder realizar un análisis adecuado, hemos de transformar estos parámetros en criterios bajo una escala comparable, por ello se han transformado los valores de los parámetros en valores comparables de la siguiente manera.

Definición de las características de los tramos.

Código Red: este código está definido por el ministerio de Fomento en función de la importancia de la línea, para asignarle un código a una línea esta debe cumplir con unos

criterios técnicos definidos y en base a este criterio se realiza un mantenimiento mas o menos intensivo.

Los tipos de línea posibles y su conversión paramétrica son los siguientes.

Tipo de Línea	Conversión
A	1
B	0.66
C	0.33
D	0

Kilómetros de vía: este parámetro mide la longitud del tramo en kilómetros, sin considerar si es vía única o doble. Se ha parametrizado de forma lineal desde el máximo 1 (113,136 Km. ) al mínimo 0,013178 (1,631 km), siendo la media 0,332 (37,56 km)

Tipo de Vía: Este parámetro distingue si la vía es única o doble, dándole el valor 1 a vía doble y 0 a vía única, en los casos en los que el tramo es mixto, parte en vía doble y parte en vía única, se ha tomado un valor intermedia en función de la proporción de cada situación.

Velocidad máxima. Este parámetro es el que marca la máxima velocidad de diseño del tramo, que puede ser un mínimo de 70 km/h y un máximo de 220 km/h.

La conversión realizada ha sido la siguiente.

Velocidad máxima	Conversión
220 km/h	1
160-140 km/h	0.66
< 140 km/h	0.33

Existen tramos con velocidades máximas mas reducidas, en el entorno de 70/90 km/h, pero a los efectos de esta clasificación todos los tramos con velocidades por debajo de 140 km/h tienen un nivel de velocidad comercial tan bajo, que no resulta interesante separarlos entre sí, cualquiera de ellos necesita grandes reformas antes de poder ser utilizable para explotaciones intensivas y/o rápidas.

Velocidad Comercial: Este parámetro se ha modelado de la misma forma que la velocidad máxima.

Tipo de Carril: El tipo de carril se clasifica según el peso por metro lineal del carril, ya que, aunque existen mejoras metalúrgicas estas son menores en comparación al tamaño del carril que marca su funcionamiento de forma casi única.

Tipo de carril	Conversión
60 kg/m	1
54 kg/m	0.66

<45 kg/m	0.33
----------	------

Tipo de traviesa: Las traviesas son los elementos que soportan el peso de los carriles de forma directa y el tipo de traviesa marca las características elásticas de la vía y su comportamiento y evolución geométrica con el tiempo.

Tipo de traviesa	de	Conversión
DW/PB (hormigón)		1
RS		0.5
Madera		0

Tipo de Línea aérea de contacto: Existen en ADIF dos tipos de línea aérea de contacto normalizadas, la CR-160 y la CR-220 diseñadas para velocidades máximas de 160 km/h y 220 km/h respectivamente, en las líneas con CR-160 algunas todavía cumplen estándares antiguos de CR-140 o incluso menores, pero se considera al modelar el cumplimiento de los estándares.

Tipo de LAC	Conversión
CR-220	1
CR-160 km/h	0.5
Sin LAC	0

Velocidad máxima Línea aérea de contacto: La velocidad máxima por LAC se modela de la misma forma que la línea aérea.

Telemando de energía: El telemando de energía no tiene situaciones intermedias, sino que solo existen si/no, con 1/0 respectivamente.

Tipo de Bloqueo: Existen varios tipos de bloqueo posibles, que no son desarrollos lineales pero se ha tomado la siguiente modelación como adecuada.

Tipo de bloqueo	de	Conversión
BAB		1
BAD		0.66
BLAU/BAU		0.33
BT		0

Tipo de enclavamiento: El tipo de enclavamiento se ha modelado de la siguiente manera, considerando el optimo como enclavamiento electrónico:

Tipo de enclavamiento	Conversión
Electrónico	1
Grupos Geográficos	0.66
Cableado libre	0.33
Boure / No	0

Tipo de Circuito de vía: Los circuitos de vía se han modelado de la siguiente manera:

Tipo de Circuito de vía	Conversión
Audiofrecuencia	1
50 Hz	0.75
Contadores de ejes	0.25
No	0

Tren tierra: El tren tierra no tiene situaciones intermedias, sino que solo existen si/no, con 1/0 respectivamente.

El resto de parámetros, al usar valores numéricos, medidos en km, numero de incidencias, numero de estaciones o similares, se han escalado en base a darle valor 1 al máximo de los tramos estudiados y escalar los demás.

En los casos en los que las instalaciones del tramo no son uniformes se ha ponderado el valor en un punto intermedio para definir la situación del parámetro.

La distribución geográfica de la red considerada en el caso de estudio se muestra gráficamente en el anexo numero 2.

Los resultados obtenidos se incluyen en el anexo numero 3

Los tramos de la línea ferroviaria considerados son muy diferentes, ya que por ejemplo el tramo de Sagunto al puerto de Sagunto es muy diferente del Cullera-Gandia, en

características de la vía, instalaciones, tráficos ferroviarios etc. Por esta razón una de las principales aportaciones de este trabajo ha sido realizar un estudio para agrupar los tramos de línea ferroviaria en grupos homogéneos y comparables, para que un técnico sin conocimiento en particular de esa línea pueda evaluar las alternativas sobre ella.

El método elegido para la clasificación, es el algoritmo de la K-medias, un método no jerárquico, en el que elegimos a priori el número de grupos en el que vamos a dividir los datos. Se ha usado este método por que, al no conocer a priori como pueden ser las agrupaciones, nos permite ver como se agrupan los tramos de forma natural. Este es el método recomendado para grandes tablas de datos como este caso y permiten detectar los casos atípicos.

La agrupación se ha realizado usando el software SPSS, mediante las técnicas de clasificación automática en función de la naturaleza de los datos.

El número de caso asignado a cada tramo y el número del conglomerado (grupo) al que pertenece es el siguiente:

<b>Pertenencia a los conglomerados</b>			
Número de caso	Tramo	Conglomerado	Distancia
1	FUENTE DE LA HIGUERA - MOGENTE	1	,434
2	MOGENTE - JATIVA	1	,942
3	BIF.VALLADA - BIF.L ALCUDIA	3	,795
4	JATIVA - SILLA	4	,998
5	SILLA - FACTORIA FORD	5	1,150
6	SILLA - VALENCIA TERMINO	3	,771
7	ALFAFAR-BENETUSSER - VALENCIA-FUENTE SAN LUIS	6	,762
8	VALENCIA TERMINO - SAGUNTO	2	,829
9	VALENCIA-FUENTE SAN LUIS - CLASIF.VALENCIA FTE.S.LUIS	6	,710
10	BIF.CLAS.VALENCIA FTE.S.LUIS - CLASIF.VALENCIA FTE.S.LUIS	6	,920
11	SAGUNTO - PUERTO DE SAGUNTO	5	1,162
12	SAGUNTO - ALMENARA	1	,531
13	ALMENARA - CASTELLON DE LA PLANA	4	,623
14	CASTELLON DE LA PLANA - OROPESA DEL MAR	1	1,024
15	LAS PALMAS - CASTELLON PUERTO	5	1,156
16	OROPESA DEL MAR - VINAROS	2	,829
17	VINAROS - ULLDECONA	1	,328

18	ULLDECONA - L ALDEA AMPOSTA	1	,300
19	L ALDEA AMPOSTA - TORTOSA	3	,722
20	L ALDEA AMPOSTA - SALOU	4	,882
21	CAMPORROBLES - UTIEL	5	,964
22	UTIEL - BUNOL	5	1,055
23	BUNOL - VARA DE QUART	4	1,199
24	VARA DE QUART - QUART DE POBLET	5	1,229
25	JATIVA - ONTENIENTE	5	,843
26	ONTENIENTE - ALCOY	5	,910
27	SILLA - GANDIA	4	,814
28	GANDIA MERCANCIAS - GANDIA PUERTO	6	,738
29	SAGUNT - SONEJA	5	,890
30	SONEJA - CAUDIEL	5	,815
31	BADULES - SANTA EULALIA DEL CAMPO	5	,925
32	SANTA EULALIA DEL CAMPO - TERUEL	5	,863
33	TERUEL - BARRACAS	5	1,098
34	BARRACAS - CAUDIEL	5	,790

## Centros de los conglomerados finales

	Conglomerado					
	1	2	3	4	5	6
CODIGO RED						
PARAMETRICO	1	1	1	1	0	0
KMS VIA Parametrizado	,35013022	,80462452	,26019422	,65695269	,24478566	,02181003
	675	270	053	410	883	394
TIPO VIA	,72222222	,66666666	,66666666	,46666666	,33333333	,33333333
PARAMETRIZADO	2222	6667	6667	6667	3333	3333
VELOCIDAD						
PARAMETRIZADA	1	1	1	1	1	1
PUENTES	,07976275	,11252268	,10844577	,24261816	,01964525	,00000000
PARAMETRIZADOS	0204	6025	7111	4602	2562	0000
TUNELES	,16785079	,03451061	,00030778	,00883861	,06079343	,00000000
PARAMETRIZADOS	170	865	701	701	095	000
NUMERO DE ESTACIONES	,44444444	,83333333	,33333333	,93333333	,59523809	,16666666
PARAMETRIZADO	4444	3333	3333	3333	5238	6667

TIPO CARRIL	1	1	1	1	0	1
PARAMETRIZADO						
TIPO TRAVIESA PARAMET	1	1	1	0	0	1
TIPO LAC PARAMET	1	1	0	0	0	0
TELEM ENERGIA	0	0	0	0	0	0
BLOQ.	1	1	1	1	0	1
ENCLAV	1	1	1	1	1	0
NUMERO DE PaN	0	0	0	1	0	0
TIPO DE CV	1	1	1	1	0	1
TREN TIERRA	1	1	1	1	1	0
INCIDENCIAS AÑO	,23258003	,88700564	,04143126	,77514124	,11057304	,02824858
ANTERIOR	7665	9718	1770	2938	2776	7571
INCIDENCIAS 4 AÑOS	,25200000	,69133333	,09822222	,56800000	,09495238	,06466666
ANTERIORES	0000	3333	2222	0000	0952	6667
INCIDENCIAS DEBIDO A	,21923937	,79865771	,03803131	,75436241	,08772770	,02013422
SEÑALIZACION	3602	8121	9911	6107	8533	8188
INCIDENCIAS DEBIDAS A						
ELECTRIFICACION	0	1	0	1	0	0
INCIDENCIAS DEBIDAS A						
VIA	0	1	0	0	0	0
KM TREN	,78840904	,99226639	,71319843	,98189877	,25346517	,06162687
PARAMETRIZADAS	3792	0145	3111	5173	5017	0600
TM BRUTAS TRANSPORTE	,87106685	,99873482	,72599771	,93563044	,17649452	,10610893
PARAMETRIZADAS	521	861	399	441	077	116

Al analizar los conglomerados se han estudiado los tipos de línea que lo componen, que tienen unas características comunes. Los nombres dados a cada conglomerado son los siguientes:

- Líneas troncales de buenas prestaciones. Conglomerado 1.
- Líneas troncales con Pasos a Nivel. Conglomerado 4.
- Líneas troncales de vía única. Conglomerado 3.
- Líneas troncales de alta incidencia. Conglomerado 2.
- Líneas secundarias. Conglomerado 5.
- Ramales técnico. Conglomerado 6.

Líneas troncales de buenas prestaciones:

En este conglomerado están agrupados los tramos de mejores prestaciones, con instalaciones modernizadas y uso intensivo.

Líneas troncales con Pasos a Nivel:

Los tramos de este conglomerado tienen unas instalaciones medias, no tan modernas como el conglomerado anterior pero mejor que instalaciones secundarias, la principal característica de este tramo es la existencia de Pasos a nivel y alto número de estaciones.

Líneas troncales de vía única.

Los tramos incluidos en este grupo tienen su principal diferencia con los demás en que son tramos de vía única con buenas prestaciones.

Líneas troncales de alta incidencia.

Este grupo de tramos tiene unas características buenas, casi del máximo nivel, son tramos largos y con muchas estaciones y alto número de incidencias en comparación con los del conglomerado de líneas troncales de buenas prestaciones, son tramos además con un uso muy intensivo, que está muy relacionado con el número de incidencias.

Líneas secundarias.

En este grupo están todos los tramos de línea de bajas prestaciones, con instalaciones de bajo nivel y poca capacidad, que tienen pocas averías y poco tráfico.

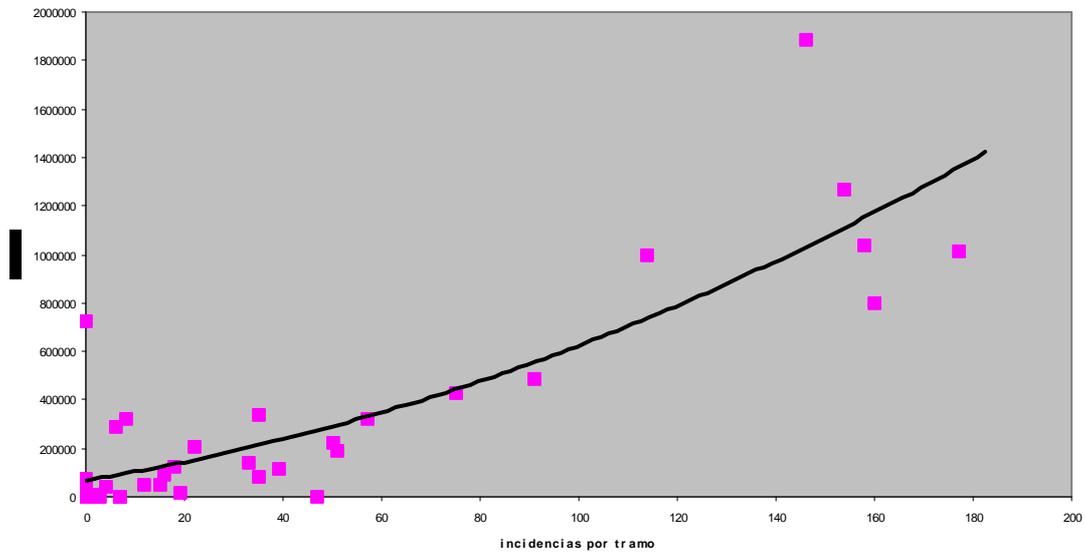
Ramales técnicos.

Estos tramos son tramos muy cortos, de buenas características en general, pero pocos tráficos y sin estaciones, son los ramales de acceso a instalaciones técnicas, de carga y descarga, puertos etc, es decir tramos auxiliares que no son instalaciones de tráfico sino de gestión auxiliar.

Al analizar los datos se observa que, existe una relación lineal entre el número de incidencias y el número de circulaciones. Esto hace pensar que todas las tecnologías son igualmente efectivas en cuanto a número de averías por uso y por ello no conviene modernizar las instalaciones si no se prevé aumentar el uso de la instalación. Esto significa que, **a igualdad de otros factores el nivel tecnológico de una instalación no afecta significativamente al número de incidencias totales, aunque sí aumenta la capacidad y reduce la duración de las incidencias.**

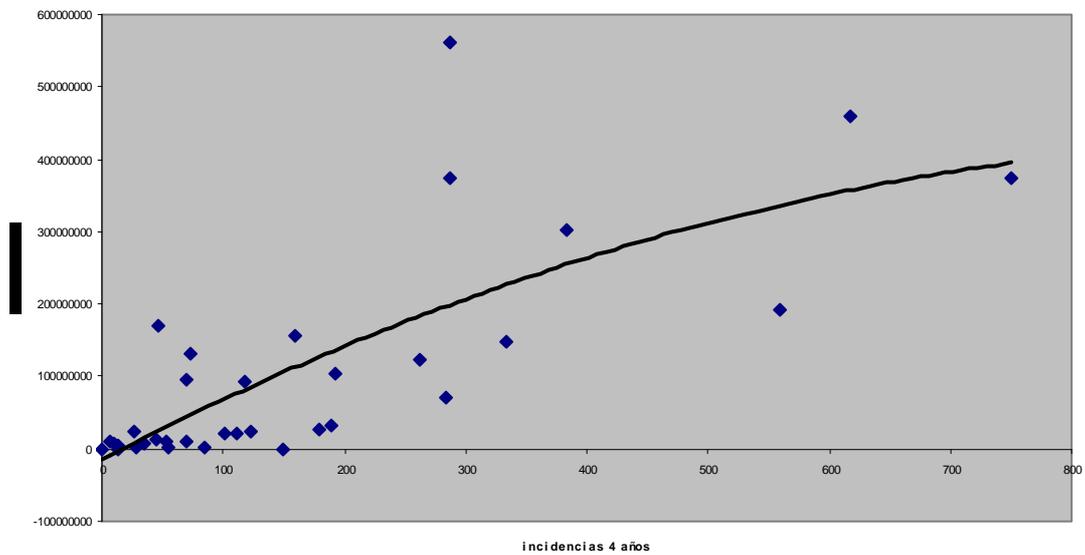
Grafica 1

relacion incidencias kmtren



Grafica 2

incidencias por uso



Las graficas 1 y 2 muestran los datos de incidencias en un año y en cuatro años con kilómetros tren (grafica 1) y toneladas transportadas (grafica 2), observándose cierta suavización en el aumento de toneladas, aunque los comportamientos son básicamente idénticos.

### **5.3 Identificación de la cartera de alternativas.**

Las actuaciones posibles son mejoras, sustituciones o renovaciones de las infraestructuras y/o instalaciones existentes en los tramos.

Existe una cartera de actuaciones posibles casi infinita, de la que normalmente se descartan muchas eligiéndose desde un grupo mucho más reducido por pura experiencia e intuición de los decisores. El lanzamiento de una actuación se decide sobre un borrador del proyecto, ya que redactar el proyecto requiere tiempo y esfuerzo así como un coste económico elevado, por lo que redactar un proyecto completamente solo para evaluar la posibilidad de realizarlo no es aceptable.

Para poder categorizar los posibles proyectos respecto a los criterios no es necesario detallar el proyecto, aunque esa falta de definición introduce ruido en la valoración de las alternativas, que se acepta como una consecuencia del elevado ahorro de coste frente a la evaluación detallada de la alternativa.

Un técnico cualificado es capaz de evaluar un proyecto en un tiempo breve con la precisión necesaria para que la evaluación sea adecuada, con la información suficiente sobre la instalación y el alcance del proyecto, conociendo los criterios de evaluación y la forma de evaluar las categorías. Esta facilidad permite el redactar un listado de proyectos lo más exhaustivo posible y detectar proyectos interesantes que se podrían haber descartado inicialmente.

#### **5.3.1 Listado de alternativas consideradas inicialmente.**

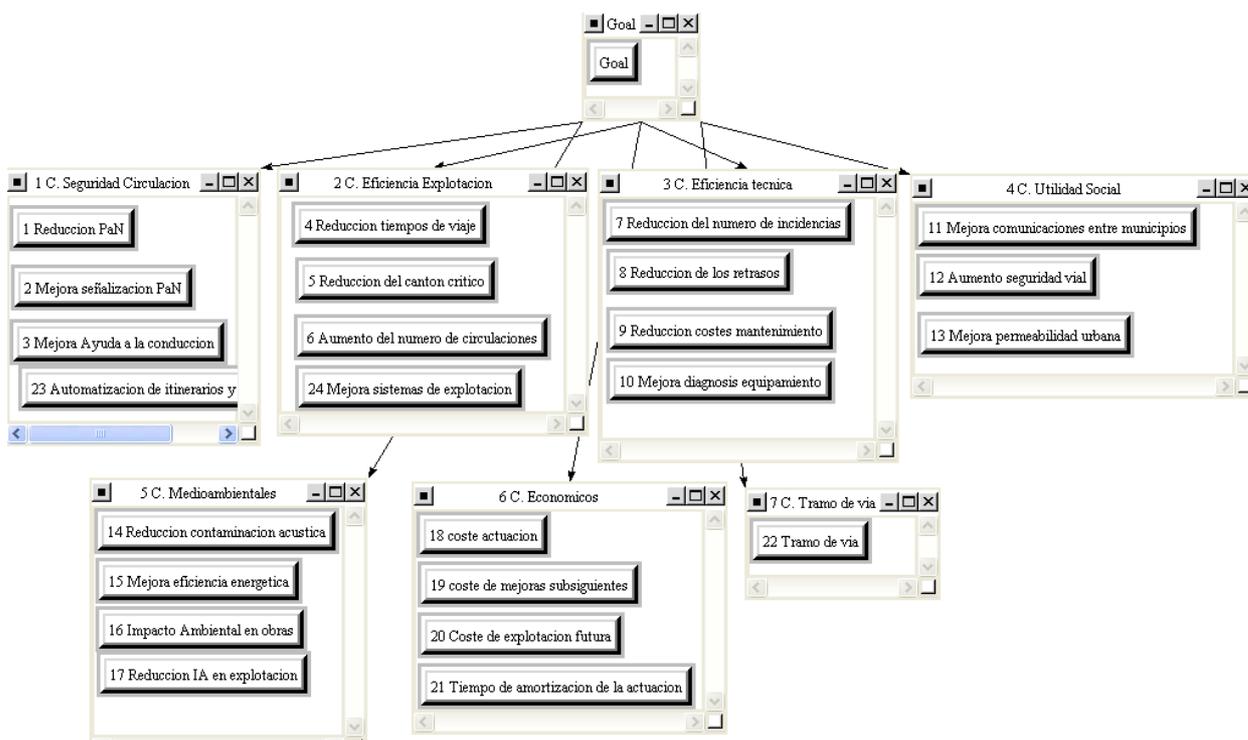
Para disponer de una cartera de proyectos lo más amplia posible se ha estudiado un grupo de proyectos tipo y se han aplicado en cada una a las líneas en las que tenía aplicación, particularizando las categorías en cada tramo según sus características.

Se ha trabajado sobre un grupo de 418 alternativas, aun sabiendo que muchas de ellas serán poco prioritarias.

El listado de actuaciones consideradas con sus valoraciones se incluye en el anexo 4.

#### **5.3.2 Modelo Jerárquico empleado.**

Una vez conocido todo lo anterior, el modelo a usar ha quedado establecido, siendo su representación grafica la siguiente, según lo modela Superdecisions.



### 5.3.3 Ponderación de los criterios y las categorías.

El decisor, con el apoyo del autor realizó el análisis y la comparación pareada de todos los criterios y categorías según el modelo jerárquico desarrollado, obteniéndose los siguientes valores de los pesos de forma local y global para los criterios. También se han incluido los pesos generales de cada grupo de criterios.

<b>Criterio</b>	<b>Pesos globales</b>	<b>Pesos Locales</b>	<b>Peso grupo</b>
<b>1 Reducción PaN</b>	0,164694	0,37832	
<b>2 Mejora señalización PaN</b>	0,031111	0,07146	
<b>3 Mejora Ayuda a la conducción</b>	0,119765	0,27511	
<b>23 Automatización de itinerarios y bloqueos</b>	0,119763	0,27511	0,435333
<b>4 Reducción tiempos de viaje</b>	0,093873	0,51618	
<b>5 Reducción del cantón crítico</b>	0,051619	0,28384	
<b>6 Aumento del numero de circulaciones</b>	0,02958	0,16265	
<b>24 Mejora sistemas de explotación</b>	0,006788	0,03733	0,18186
<b>7 Reducción del numero de incidencias</b>	0,079242	0,63954	
<b>8 Reducción de los retrasos</b>	0,031912	0,25755	
<b>9 Reducción costes mantenimiento</b>	0,006668	0,05382	
<b>10 Mejora diagnosis equipamiento</b>	0,006082	0,04909	0,123904
<b>11 Mejora comunicaciones entre municipios</b>	0,009102	0,14285	
<b>12 Aumento seguridad vial</b>	0,045511	0,71429	
<b>13 Mejora permeabilidad urbana</b>	0,009102	0,14285	0,063715
<b>14 Reducción contaminación acústica</b>	0,004702	0,2175	
<b>15 Mejora eficiencia energética</b>	0,004065	0,18804	
<b>16 Impacto Ambiental en obras</b>	0,001291	0,05972	
<b>17 Reducción IA en explotación</b>	0,01156	0,53474	0,021618
<b>18 coste actuación</b>	0,030263	0,46219	

<b>19 coste de mejoras subsiguientes</b>	0,004229	0,06459	
<b>20 Coste de explotación futura</b>	0,019323	0,29511	
<b>21 Tiempo de amortización de la actuación</b>	0,011662	0,17811	0,065477
<b>22 Tramo de vía</b>	0,108093	1	0,108093

Los pesos de las categorías para cada criterio son los siguientes

CRITERIO	CATEGORÍAS	PESOS
C1 Reducción de PaN	Total	1
	Parcial	0,400678
	Significativa	0,172236
	Indiferente	0,074332
	Aumento	0,027202
C2 Mejora de la señalización de pasos a nivel	Muy alta	1
	Alta	0,637461
	Significativa	0,222176
	Despreciable	0,112436
	Reducción	0,060579
C3 Mejora de los sistemas de ayuda a la conducción	Muy alta	1
	Alta	0,513412
	Significativa	0,253735
	Despreciable	0,144844
	Reducción	0,06049
C4 Reducción de los tiempos de viaje	Mayor 20%	1
	Mayor 10%	0,509931
	Mayor 5%	0,251508
	Menor 1%	0,123586
	Reducción	0,065005
C5 Reducción del cantón crítico	Mayor 20%	1
	Mayor 10%	0,516871
	Mayor 5%	0,256163
	Menor 1%	0,163623
	Reducción	0,057726
C6 Aumento del número de circulaciones	Mayor 100%	1
	Mayor 50%	0,509931
	Mayor 20%	0,251508
	Menor 10%	0,123586
	Reducción	0,065005

C7 Reducción en el numero de incidencias	Mayor 50%	1
	Mayor 20%	0,509931
	Mayor 10%	0,251508
	Menor 1%	0,123586
	Aumento	0,065005
C8 Reducción de los retrasos	Mayor 50%	1
	Mayor 25%	0,519672
	Mayor 10%	0,572497
	Menor 5%	0,080285
	Aumento	0,059208
C9 Reducción de los costes de Mantenimiento	Mayor 50%	1
	Mayor 25%	0,795423
	Mayor 10%	0,4258
	Menor 1%	0,218094
	Aumento 10%	0,113778
	Aumento 20%	0,064113
C10 Mejora de la diagnosis del equipamiento	Mucha Mejora	0,509931
	Mejora elevada	0,251508
	Mejora significativa	0,123586
	Mejora despreciable	0,065005
	Reducción	0,15586
C11 Mejora de las comunicaciones entre los municipios	Muy alta	1
	Alta	0,509931
	Significativa	0,251508
	Despreciable	0,23586
	Reducción	0,065005
C12 aumento de la seguridad vial del entorno	Muy alta	1
	Alta	0,509931
	Significativa	0,251508
	Despreciable	0,123586
	Reducción	0,065005
C13 Mejora de la permeabilidad urbana	Muy alta	1
	Alta	0,509931
	Significativa	0,251508
	Despreciable	0,123586
	Reducción	0,065005
C14 Reducción de los ruidos urbanos y rurales	Muy alta	1
	Alta	0,509931
	Significativa	0,251508
	Despreciable	0,123586
	Aumento	0,065005

C15 Mejora de la eficiencia energética	Mayor 20%	1
	Mayor 10%	0,509931
	Mayor 5%	0,251508
	Menor 1%	0,123586
	Reducción	0,065005
C16 Reducción Impacto ambiental durante la actuación	Muy alto	0,065003
	Alto	0,123583
	Medio	0,251501
	Bajo	0,50991
	Despreciable	1
C17 Reducción impacto ambiental FFCC	Muy alta	1
	Alta	0,509931
	Significativa	0,251508
	Despreciable	0,123586
	Aumento	0,065005
C18 Coste de la actuación de mejora	Mayor 45 Meuros	0,226005
	Mayor 25 Meuros	1
	Mayor 15 Meuros	0,636855
	Mayor 7 Meuros	0,262271
	Mayor 3 Meuros	0,110617
	Menor 3 Meuros	0,0513
C19 Coste de Mejoras subsiguientes	Muy alto	0,075407
	Alto	0,155873
	Importante	0,293698
	Despreciable	1
C20 Coste de explotación futura	Mayor 120%	0,111237
	Mayor 110%	0,201773
	Mayor 100%	0,851467
	Mayor 80%	1
	Mayor 60%	0,486714
	Menor 50%	0,402927
C21 Tiempo de amortización de la actuación	Mayor 50 años	0,120228
	Mayor 30 años	0,559725
	Mayor 20 años	1
	Mayor 10 años	0,788428
	Mayor 5 años	0,401675
	Menor 5 años	0,182682
C22 Tipo de Línea	L. Troncal Buenas prestaciones	0,124669
	L. Troncal con PaN	1
	L. Troncal con vía única	0,317767
	L. Troncal alta incidencia	0,525865
	L. Secundarias	0,077799

	Ramales Técnicos	0,031442
C23 Automatización de itinerarios y bloqueos	Muy Alta	1
	Alta	0,486026
	Significativa	0,492764
	Despreciable	0,059153
C24 Mejora sistemas de explotación	Muy Alta	1
	Alta	0,464065
	Significativa	0,207969
	Despreciable	0,097849

Las tablas de las comparaciones pareadas realizadas que han generado estos pesos se incluyen en el anexo 5.

### 5.3.4 Análisis de los pesos de las categorías de cada criterio.

Una vez estudiados los pesos de cada uno de los criterios, vamos a considerar la importancia de las categorías consideradas en cada uno de ellos. La definición de las categorías consideradas en cada criterio ya se ha realizado en el estudio de los criterios usados, por lo que en este apartado solo se estudian los pesos de cada una de las categorías y su implicación en el tipo de actuaciones más deseable.

Las tablas de comparaciones pareadas que han generado estos pesos se incluyen en el anexo 6.

En general la mayoría de las relaciones entre las categorías consideradas son lineales, es decir, el salto de una categoría a otra aumenta o disminuye proporcionalmente la prioridad de la categoría. Lo normal en caso de conceptos que mejoran de forma lineal, como casi todos los conceptos definidos en los criterios.

Los conceptos que aumentan linealmente son las evaluaciones de las categorías más conceptuales y las evaluaciones de conceptos numéricos de cambio lineal como, por ejemplo, reducción de tiempos de viaje, reducción del cantón crítico, aumento del número de circulaciones, reducción del número de incidencias y mejora eficiencia energética.

Fuera de estos tenemos valores numéricos y conceptuales con categorías no lineales, Coste de la actuación, coste de explotación, tiempo de amortización y tramo de vía.

Los pesos obtenidos para las diferentes categorías de coste de la actuación son los siguientes:

Categoría	Peso (Distribución Ideal)
Mayor de 45 Meuros	0,226007
Mayor de 25 Meuros	1,000000
Mayor de 15 Meuros	0,636859
Mayor de 7 Meuros	0,262273

Mayor de 3 Meuros	0,110618
Menor de 3 Meuros	0,051301

El decisor comentó que esta distribución le resultaba lógica con respecto al tipo de actuaciones consideradas porque las actuaciones demasiado caras o demasiado baratas no suelen resultar interesantes por no acometer reformas de envergadura o porque las actuaciones demasiado costosas comprometen una cantidad de recursos muy grande en una zona muy reducida.

El comprometer una cantidad de recursos demasiado grande en un solo tramo aunque mejora este, como la red ferroviaria depende del efecto red, no mejora el desempeño general de la red con la misma intensidad. Por poner un ejemplo, convertir un tramo de vía de carril de 45 kg/m con traviesa de madera a carril de 60 kg/m con traviesa de hormigón es muy costoso, mientras que si se sustituye por carril de 54 con traviesa RS se sigue mejorando la calidad de la infraestructura y con el mismo coste total se puede actuar sobre dos tramos.

De la misma forma, existe un coste mínimo para una actuación por poco importante que sea, con lo que una vez que se actúa conviene que esta actuación sea lo más grande posible, sin escapar demasiado de los parámetros de calidad del resto de la red, por los problemas antes mencionados.

El criterio coste de explotación futura nos marca la previsión de coste tras realizar la actuación, los pesos obtenidos son los siguientes:

Categoría	Peso (Distribución Ideal)
Mayor de 120 %	0,111235
Mayor de 110 %	0,201771
Mayor de 100 %	0,851477
Mayor de 80 %	1,000000
Mayor de 60 %	0,486719
Menor de 50 %	0,402929

Para comenzar llama claramente la atención que la distribución de pesos es muy parecida, no existiendo las grandes diferencias de valoración, sobre todo en las categorías de coste de explotación reducido.

Evidentemente el aumento de coste de explotación es mucho menos deseable que las reducciones, pero una reducción de coste de explotación muy grande no es mucho más deseable que una menor debido a que la experiencia del decisor dice que las reducciones de coste para situarlos a niveles entre el 100 y el 80% son posibles. Las reducciones de coste de explotación mucho mayores no se alcanzan fácilmente solo con obras o cambios en la infraestructura sino que ya implican cambios en el sistema de gestión del personal, material, incidencias u otros factores que escapan al ámbito de la selección de las actuaciones de mejora.

Pese a ello siguen siendo deseables aunque debido a la poca confianza en dichas reducciones su peso baja frente a las alternativas más creíbles.

Algo parecido ocurre con el tiempo de amortización de las infraestructuras, los pesos obtenidos son los siguientes:

Categoría	Peso (Distribución Ideal)
Mayor de 50 años	0,120229
Mayor de 30 años	0,559728
Mayor de 20 años	1,000000
Mayor de 10 años	0,788424
Mayor de 5 años	0,401676
Menor de 5 años	0,182682

En este caso también la experiencia marca que obras que producen mejoras con plazos de amortización tan largos no son deseables puesto que ata e inmoviliza recursos durante un tiempo muy largo. Dada la experiencia de cambios del ferrocarril durante 150 años (en España) una actuación que requiera tanto tiempo puede tener que interrumpir su amortización a medio plazo por quedarse obsoleta o superada por las necesidades antes del final del plazo. Las actuaciones a 30 años también tienen los mismos problemas, aunque en general en estos plazos las actuaciones no se ven superadas tan fácilmente por la tecnología o por las necesidades.

La actuación tipo más deseable tiene un tiempo de amortización de 20 años, que permite repartir el coste de la actuación durante un plazo aceptable y que no dilata el plazo demasiado evitando tener que renovar la infraestructura antes de su plazo de amortización. Este plazo es el más deseable porque al experiencia marca que, ya por problemas de suministro de recambios, obsolescencia de los equipos o cambios en las necesidades de explotación, es el plazo más habitual de sustitución o mejora de las instalaciones.

Las actuaciones con plazos más bajos generan problemas contables ya que el coste se reparte en un plazo muy bajo y repercute mucho en las cuentas de explotación de la empresa. Los equipos con plazos de amortización tan cortos suelen ser equipos de evolución tecnológica rápida, que causa problemas de falta de recambios o incompatibilidad entre generaciones tecnológicas. En instalaciones ferroviarias ese problema es muy importante por existir parques de instalaciones muy amplias y repartidas geográficamente por lo que las renovaciones tienen un alto coste de logística, por necesidad de disponer de inventarios amplios para averías graves y de muchas horas hombre para actuar, aunque el coste del equipo a sustituir sea reducido.

En general las amortizaciones inferiores a 5 años solo son interesantes para equipos de gestión de la explotación y/o el mantenimiento de costes reducidos.

Este reparto de pesos ha cambiado en los últimos años, ya que cuando se puso en marcha el proyecto de eliminación de pasos a nivel guardados, donde se suprimía la operación manual de los pasos a nivel por PaN automatizados, por el elevado coste del personal necesario, el plazo de amortización de un PaN automatizado era del orden de 1 año aproximadamente. En la misma época la automatización y telemando de las subestaciones tenía plazos de amortización similares por lo que en ese momento el

reparto de pesos en los plazos de amortización sería muy diferente, lo que demuestra que aunque la jerarquía usada se pueda mantener en el tiempo, los pesos de los criterios dependen de las alternativas existentes y de la experiencia de aplicación de los proyectos y de los resultados obtenidos que tengan los decisores.

El último criterio con reparto de pesos no lineales es el tramo de vía. En este caso no podía existir la linealidad porque al ser agrupaciones de tramos de vía en base muchos datos disponibles sobre ellos, sin un orden natural de los tramos.

Los pesos obtenidos son:

Categoría	Peso (Distribución Ideal)
L. Troncal buenas prestaciones	0,124669
L. Troncal con PaN	1,000000
L. Troncal vía única	0,317766
L. Troncal alta incidencia	0,525863
L. Secundarias	0,077800
Ramales técnicos	0,031442

Aunque a priori parecería lógico que las líneas de buenas prestaciones tuvieran más peso, la buena calidad de estas hace que sean difícilmente mejorables, requiriendo además reformas generales en el régimen de explotación que quedan fuera del alcance de las actuaciones de mejora en mantenimiento consideradas, porque ya no serían progresivas sino revolucionarias en la infraestructura.

Las líneas secundarias y los ramales técnicos tienen pesos muy bajos, ya que su importancia es muy reducida. Las líneas secundarias tienen muy poco tráfico y su nivel de uso está muy por debajo de su capacidad máxima teórica y efectiva, por lo que hay pocas incidencias que generan pocos retrasos, al existir pocos trenes en circulación. Podríamos decir que aunque sus parámetros de calidad son bajos las necesidades también lo son y por ello la prioridad de actuar sobre ellas es baja.

Con esto queremos expresar que, si se mantienen las características de la explotación en la situación existente no son necesarias reformas sobre el tramo de vía, ahora, si se prevé cambiar las características de la explotación, sería necesario estudiar las nuevas características del tramo y ver si cambia el tipo, por ejemplo, si se quiere crear una red de cercanías en Teruel, aumentarían el número de circulaciones y sería previsible que aumentara el de averías, con lo que en la nueva situación los tramos implicados pasarían de línea secundaria a troncal con PaN aumentando significativamente la prioridad de actuar sobre ese tramo.

Los tramos de máxima prioridad son por orden:

Línea troncal con PaN, la existencia de pasos a nivel en una línea con muchas circulaciones genera problemas de seguridad, por existir la posibilidad de accidentes con vehículos de carretera y/o peatones, además los PaN son uno de los puntos que más

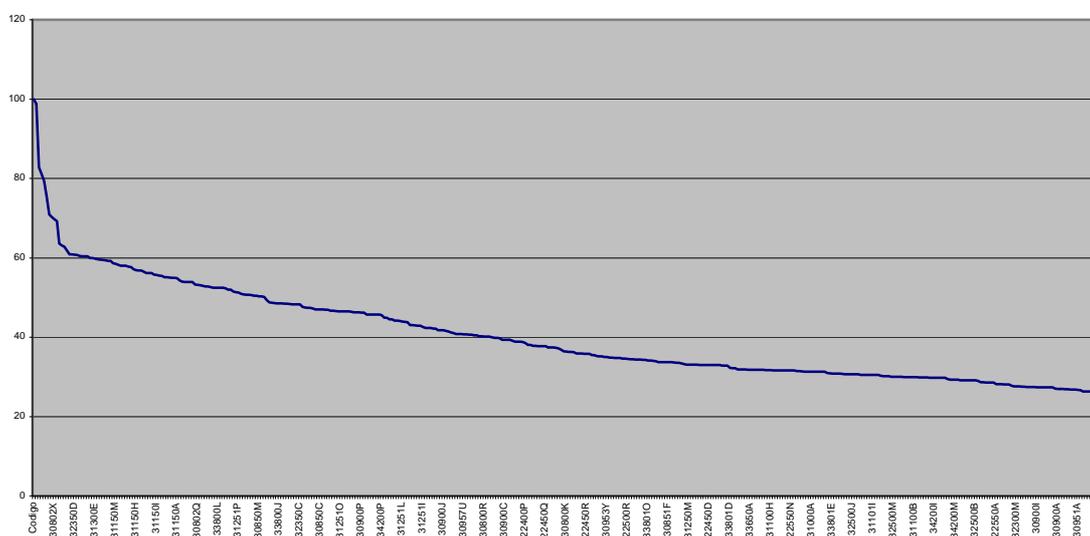
incidencias generan por la extrema sensibilidad con la que están configurados creando además bastantes retrasos, por ello tienen la máxima prioridad.

Línea troncal alta incidencia. Este tipo de líneas tienen un ratio entre el número de circulaciones y el de incidencias alto, por lo que existen posibilidades de mejora y un número de circulaciones suficiente como para que sea interesante realizar la actuación, en general estas líneas operan cerca del máximo posible de capacidad y aprovecharán más esas mejoras.

líneas troncal vía única. Los tramos de vía única de mucha circulación son muy sensibles, por la necesidad de mover trenes en sentidos opuestos por la misma vía, con lo que la capacidad efectiva es mucho más reducida que la teórica y generan graves problemas de gestión, cualquier fallo que detenga un tren en el trayecto imposibilita circular ni en situación degradada haciendo que la fiabilidad en estas líneas deba ser más alta que en las de vía doble ya que estas permiten operar en situación degradada con capacidad reducida y necesitan fallos mucho más graves (de ambas vías) para quedar completamente fuera de servicio.

### 5.3.5 Ordenación de las alternativas obtenidas.

Para poder ver que alternativas eran las más importantes de una forma visual se obtuvo una curva de prioridades de cada actuación ordenadas, en la siguiente gráfica:



Donde hemos comparado el peso de cada alternativa frente a la más importante, con lo que podemos observar que hay un grupo de alternativas con pesos muy altos y luego la prioridad de la actuación cae de forma exponencial hasta un mínimo.

De este grupo tan amplio se ha seleccionado un subgrupo de solo 23 alternativas de entre todo el margen estudiado, que se usará para evaluar la sensibilidad. El listado de estas alternativas lo podemos ver en el anexo 7.

## 6.0 Resultados.

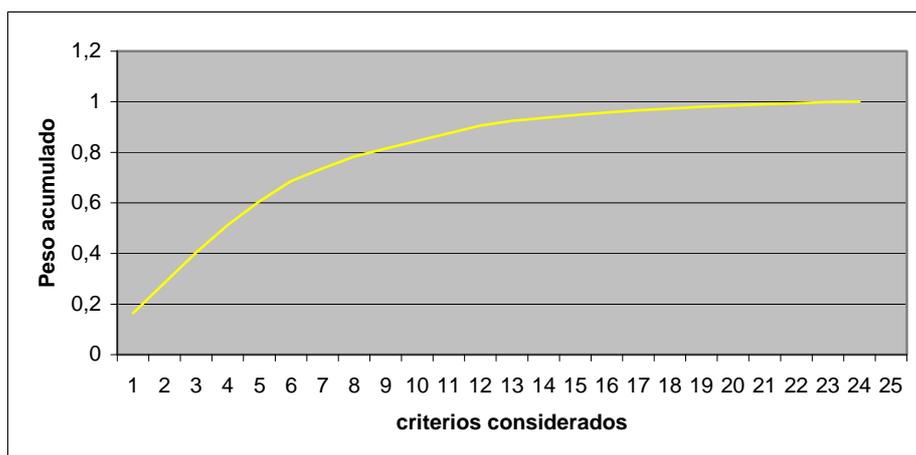
Se ha desarrollado un método para decidir qué acciones de mantenimiento ferroviario son prioritarias dentro de la cartera de acciones que tiene el administrador de una determinada zona de ADIF. Este método de ayuda a la decisión multicriterio se ha probado para su validación en un caso de estudio, la Gerencia de mantenimiento de Valencia de ADIF.

Para poder estudiar la importancia de los criterios mas cómodamente los ordenamos por peso descendente con el acumulado del peso.

CRITERIO	PESO	PESO ACUMULADO
C1 Reducción de PaN	0,164694	0,164694
C3 Mejora de los sistemas de ayuda a la conducción	0,119765	0,284459
C23 Automatización de itinerarios y bloqueos	0,12	0,404222
C22 Tipo de Línea	0,108093	0,512315
C4 Reducción de los tiempos de viaje	0,093873	0,606188
C7 Reducción en el numero de incidencias	0,079242	0,68543
C5 Reducción del cantón critico	0,051619	0,737049
C12 aumento de la seguridad vial del entorno	0,045511	0,78256
C8 Reducción de los retrasos	0,031912	0,814472
C2 Mejora de la señalización de pasos a nivel	0,031111	0,845583
C18 Coste de la actuación de mejora	0,030263	0,875846
C6 Aumento del numero de circulaciones	0,02958	0,905426
C20 Coste de explotación futura	0,019323	0,924749
C21 Tiempo de amortización de la actuación	0,01	0,936411
C17 Reducción impacto ambiental FFCC	0,01156	0,947971
C11 Mejora de las comunicaciones entre los municipios	0,009102	0,957073
C13 Mejora de la permeabilidad urbana	0,009102	0,966175
C24 Mejora sistemas de explotación	0,006788	0,972963
C9 Reducción de los costes de Mantenimiento	0,006668	0,979631
C10 Mejora de la diagnosis del equipamiento	0,006082	0,985713
C14 Reducción de los ruidos urbanos y rurales	0,004702	0,990415

C19 Coste de Mejoras subsiguientes	0,004229	0,994644
C15 Mejora de la eficiencia energética	0,004065	0,998709
C16 Reducción Impacto ambiental durante la actuación	0,001291	1

Representándolo de forma grafica vemos claramente una curva de crecimiento exponencial hacia el limite.



Los criterios más importantes son fundamentalmente los vinculados a la seguridad en la circulación y el tramo de vía, lo que esta de acorde con las ideas iniciales del decisor y de toda la política de gestión del trafico ferroviario. El tramo de vía es el principal criterio fuera de la seguridad, no siendo más prioritarios los tramos con mas trafico sino que los tienen una carga de trafico mas alta en relación a sus limitaciones, las líneas de vía única y las de vía única y alta cantidad de pasos a nivel por km.

Los criterios con un peso inferior en tanto por uno a 0,02 pese a ser muy numerosos apenas aportan valor al peso de una alternativa y su efecto sobre la ordenación de estas es muy bajo.

### 6.1 Análisis de importancia de criterios por grupos.

Los pesos de los grupos de criterios son los siguientes:

Grupo de criterios	Peso
Seguridad en la circulación	0,435332
Eficiencia en la explotación	0,181860
Eficiencia técnica	0,123904
Utilidad social	0,063716
Criterios Medioambientales	0,021617
Criterios económicos	0,065478
Tramo de vía	0,108093

Los criterios más importantes son los del grupo de la seguridad en la circulación, que representa el 43% del peso de todos los criterios, con lo que excepto actuaciones muy beneficiosas en el conjunto del resto de los criterios considerados pueden quedar en posiciones elevadas en la ordenación si no mejoran la seguridad en la circulación.

### **6.1.1 Criterios de seguridad en la circulación.**

Dentro de los criterios considerados en el grupo de seguridad en la circulación el reparto de prioridades es significativamente bajo para el criterio 2 Mejora de la señalización de PaN, que solo representa un 7% de la ponderación de su cluster, esta ponderación tan baja se debe a que, al estar todos los Pasos a Nivel de la red de ADIF señalizados, con sistemas mas o menos seguros, el sistema mínimo es con señalización acústica y luminosa y el más completo, con señalización acústica, luminosa y barreras, el implementar más seguridad en los pasos, con las tecnologías y soluciones existentes hoy en día, no proporciona un aumento de la seguridad y del numero de accidentes comparable a lo que aseguran el resto de alternativas.

Todos los pasos a nivel en zonas urbanas o con un trafico superior al medio tienen barreras, quedando solo los pasos en vías secundarias o con muy poco trafico de vehículos de carretera con sonería. La supresión de pasos a nivel aumenta la seguridad al desaparecer la posibilidad de invasión de la vía por el vehículo y evita la posibilidad de accidentes con vehículos no ferroviarios, mientras que la automatización de itinerarios y bloqueos y el uso de sistemas de ayuda a la conducción reducen la posibilidad de tener accidentes entre vehículos ferroviarios al reducir el peso del factor humano en el enrutamiento de los trenes y aumentan la información disponible sobre el uso de la infraestructura.

Los últimos accidentes ferroviarios sucedidos en España se han dado, o en zonas con sistemas de ayuda a la conducción anticuados o reducidos, en las fronteras entre sistemas de ayuda a la conducción o han intervenido vehículos especiales, que operaban en un régimen de seguridad inferior al permitido por la instalación, básicamente vagonetas y dresinas de trabajos.

### **6.1.2 Criterios de Eficiencia en la explotación.**

Este grupo de criterios es el segundo en peso combinado, aunque su importancia esta muy por debajo de la seguridad en la circulación.

El 51% de la importancia de este grupo se le ha dado a la reducción de los tiempos de viaje, estando después la reducción del cantón crítico y el aumento del numero de circulaciones. El hecho que sea lo más importante el tiempo de viaje se debe a que la dirección de ADIF es consciente que cuando el viajero potencial considera las alternativas de transporte para realizar un viaje, el tiempo de viaje es uno de los criterios fundamentales. Cualquier actuación de mejora que reduzca el tiempo de viaje afecta muy directamente al numero de usuarios potenciales de la infraestructura, en la parte que puede controlar ADIF, ya que no es la responsable de fijar la velocidad comercial del viaje para el usuario final.

Como ejemplo de la importancia de la reducción de los tiempos de viaje para el aumento de los viajeros se puede estudiar el aumento de viajeros entre Madrid y Barcelona desde la puesta en servicio de esta línea de A.V. con un aumento del 195% en el número de viajeros solo el primer año.

En cuanto a la reducción del cantón crítico, aunque en casi todas las actuaciones que lo afectan también incluyen recortes en los tiempos de viaje, es fundamental para asegurar la fluidez del tráfico por la red. Las actuaciones que afectan al cantón crítico de forma independiente a la duración del viaje son básicamente actuaciones de señalización, que permiten un comportamiento más elástico de la red y evitan la acumulación de retrasos concatenados en los trenes debido a un problema de uno de ellos. En general la reducción del cantón crítico de un tramo de red permite reducir los retrasos generados por una incidencia y aumentar la velocidad de recuperación del estado normal de la red cuando sufre alguna degradación.

La mejora de los sistemas de explotación, si no va vinculada a las mejoras anteriores no tiene gran valor de por sí afectando muy poco a la calidad de la infraestructura.

### **6.1.3 Criterios de eficiencia Técnica.**

Este grupo de criterios representa la importancia que se le da a la mejora del comportamiento de la infraestructura en condiciones reales, valoran las actuaciones que mantienen las condiciones idóneas de funcionamiento.

Básicamente la eficiencia técnica la podemos consolidar en un solo criterio significativo, la reducción del número de incidencias. Cuanto menores sean estas mejor funcionamiento tendrá la infraestructura, por parte de ADIF queda claro que la mejor incidencia es la que no ocurre y que la infraestructura ferroviaria ha de tener una fiabilidad lo más elevada posible. La reducción de incidencias es el sexto criterio en importancia y es además uno de los criterios con más variación es su valoración en las diferentes alternativas, por lo que tiene un efecto discriminador muy alto.

Aunque la reducción en los retrasos también tiene un peso relativamente elevado ya no es un criterio discriminador.

### **6.1.4 Criterios de Utilidad Social.**

Aunque ADIF es una entidad pública empresarial que depende del ministerio de Fomento, la gestión de las actuaciones de mejora de la infraestructura ferroviaria a día de hoy no se rige por criterios de utilidad social pura, como se puede ver en la escasa valoración que se le da a estos criterios sino que la utilidad social se obtiene a través de los criterios técnicos.

Los criterios de utilidad social tienen un peso muy bajo por el tipo de actuaciones de mejora que se realizan en red convencional y por las consideraciones que se realizan para la gestión de la red existente.

Si en lugar de estudiar la cartera de actuaciones de mejora sobre la red convencional que se realizan desde la gerencia de mantenimiento de Valencia, se estudiara desde la

dirección general de la empresa, en cuanto a que líneas construir o reformar es de esperar que estos criterios tuvieran una importancia mucho más alta.

### **6.1.5 Criterios Medioambientales.**

De forma similar a como ocurre con los criterios de utilidad social el peso de la incidencia medioambiental en la selección de proyectos es muy reducido. En general el peso es tan bajo que no afectan apenas a la ordenación y si lo hacen es entre alternativas con muy poca prioridad global.

Este hecho se basa en que el tipo de actuaciones consideradas, mejoras sobre instalaciones existentes, no es importante el efecto ambiental, puesto que el impacto medioambiental ya se generó cuando se construyó la línea. Dentro de la escasa importancia de este grupo, el 53% del peso, con lo que se convierte en el único elemento de este grupo con un peso significativo, es el del impacto ambiental durante la explotación de la línea. Esta claro que las actuaciones de mejora que estudia mantenimiento van a tender siempre a reducir el impacto durante la vida útil de la explotación, mas que durante la propia actuación en sí. Es de considerar que cualquier proyecto o actuación a estudiar ya tiene unos índices de calidad medioambiental muy altas pues solo se consideran actuaciones que estén de acuerdo con el alto nivel de exigencia propio fijado en el sistema de gestión Medioambiental de la dirección de Red convencional, con certificado EN ISO-14.000.

### **6.1.6 Criterios Económicos.**

Es muy llamativo la poca importancia que se le da a los criterios puramente económicos para la selección de la cartera de proyectos. El 46% de este peso se le da al coste de la actuación, lógico puesto que el coste de esta es el que limita el numero de actuaciones totales a realizar, el 26% se le da al coste de explotación futura, fundamental para mejorar la eficiencia económica de la empresa.

La explicación de la baja importancia de estos criterios se puede encontrar en no tener la presión de una rentabilidad económica de las actuaciones realizadas, puesto que ADIF no fija el precio por el uso de la infraestructura ni el capital disponible para actuaciones de mejora. Se considera más importante mejorar la seguridad y la calidad técnica que el coste propio de la actuación y de su futura explotación.

### **6.1.7 Tramo de vía.**

Este grupo de criterios se compone de un solo criterio, el tipo de tramo de vía. El desarrollo de cómo se ha generado este criterio se detalla en el Apartado 5.2.

Este criterio es el cuarto en importancia de los 23 considerados, además del más importante de los no vinculados con la Seguridad en la circulación. Según el decisor este criterio nos pone en contexto la actuación con el lugar donde se realiza, puesto que cada tipo de línea tiene una sensibilidad diferente a las actuaciones de mejora, así como la empresa considera más importante mejorar un tipo de línea u otro.

En general este criterio nos marca que, las actuaciones de poca importancia en líneas de poca importancia no tendrán ninguna prioridad y que serán preferibles actuaciones medias sobre líneas sensibles frente a actuaciones más grandes en líneas poco sensibles.

Este resultado concuerda con la política aplicada en los últimos años para la renovación de vía, que se esta realizando en ese tipo de líneas.

## 6.2 Análisis de sensibilidad de los criterios y alternativas.

Es deseable examinar la sensibilidad del resultado de una decisión, para ver hasta que punto es estable o si las variaciones de los pesos afectan mucho a la ordenación obtenida. Lo que se hace es cambiar la prioridad de un criterio manteniendo las proporciones de las prioridades de los otros criterios, de tal manera que todos ellos al modificarse, incluso el criterio alterado, sumen uno, (Saaty, 1997).

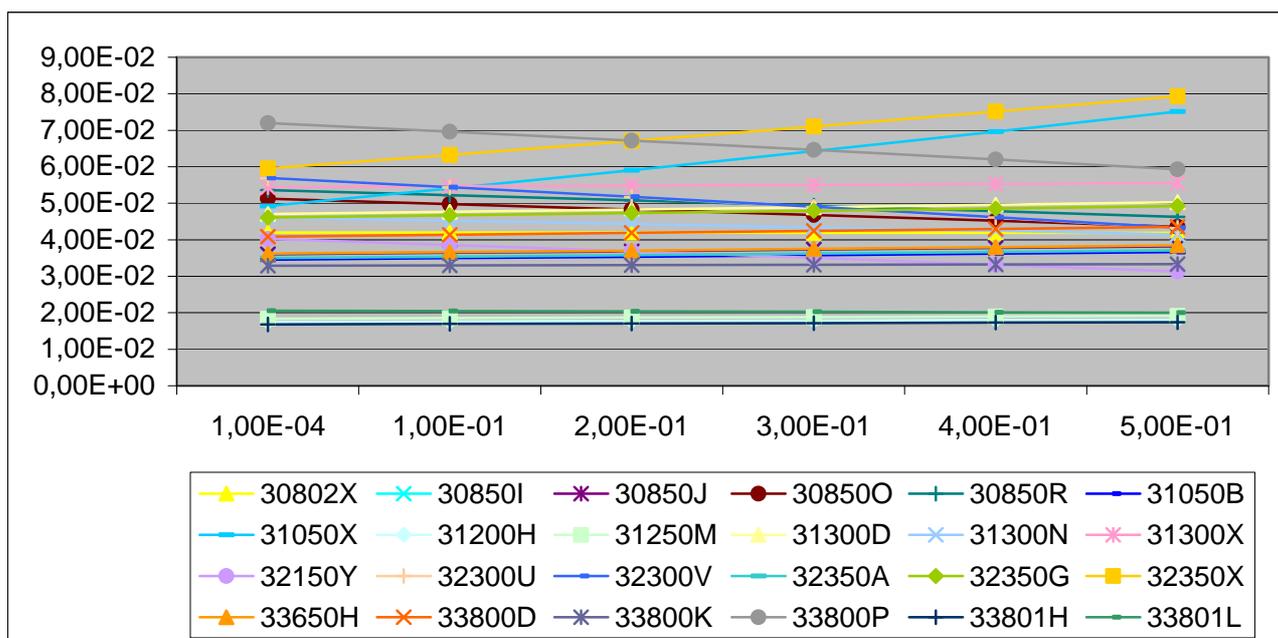
De esta forma, podemos ver como los cambios en la prioridad de los criterios cambian la ordenación de las alternativas y en general, como de robusto es el resultado obtenido frente a variaciones de los datos considerados. Para que resulte más sencillo y eficiente solo se han considerado un grupo reducido de alternativas de todo el margen anterior. El listado esta definido en el anexo 7.

### 6.2.1 Análisis de sensibilidad de los criterios.

En la primera parte de este análisis de sensibilidad vamos a ver como cambia la valoración de las alternativas frente a cambios en los pesos de los criterios, se van a representar los gráficos de los criterios de mas peso, oscilando de 0 a 0,5 con respecto al objetivo, tanto para criterios importantes como para criterios poco importantes.

#### 6.2.1.1 Criterio Reducción de pasos a nivel.

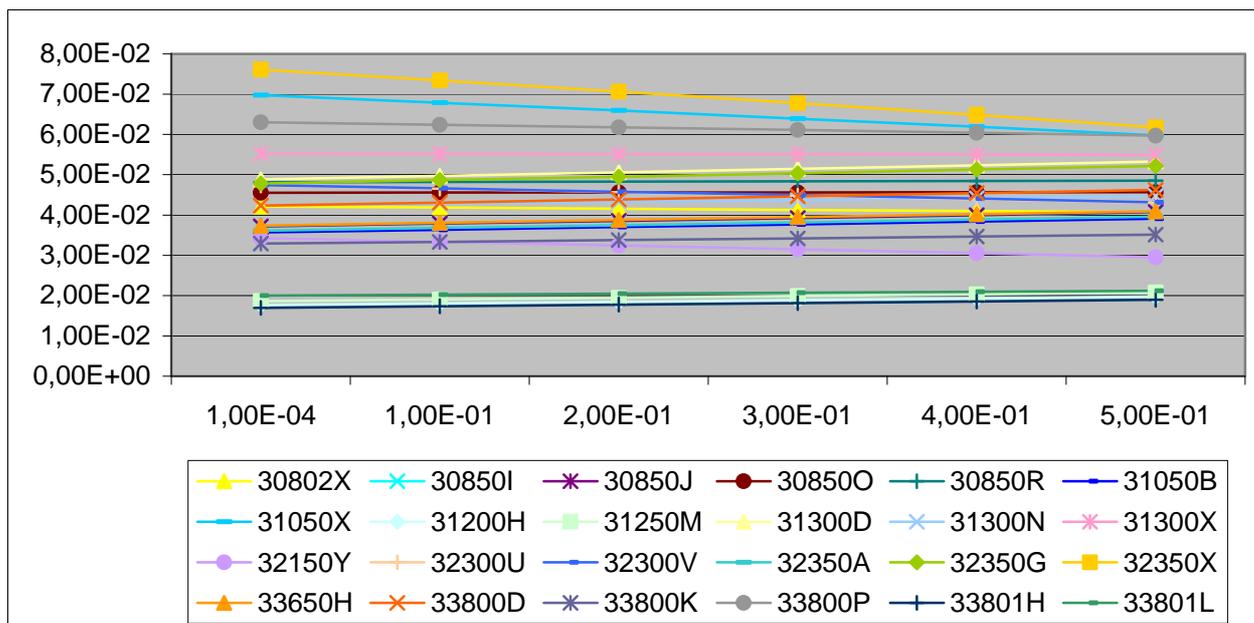
Al representar como cambian las valoración al cambiar el peso de este criterio obtenemos la siguiente grafica.



Donde se puede ver que las actuaciones no prioritarias siguen manteniéndose en las posiciones menos prioritarias en toda la zona de variabilidad estudiada y del grupo de actuaciones más importante se producen cambios en la ordenación, aunque de menor importancia.

**6.4.1.2 Criterio Mejora señalización de Pasos a nivel.**

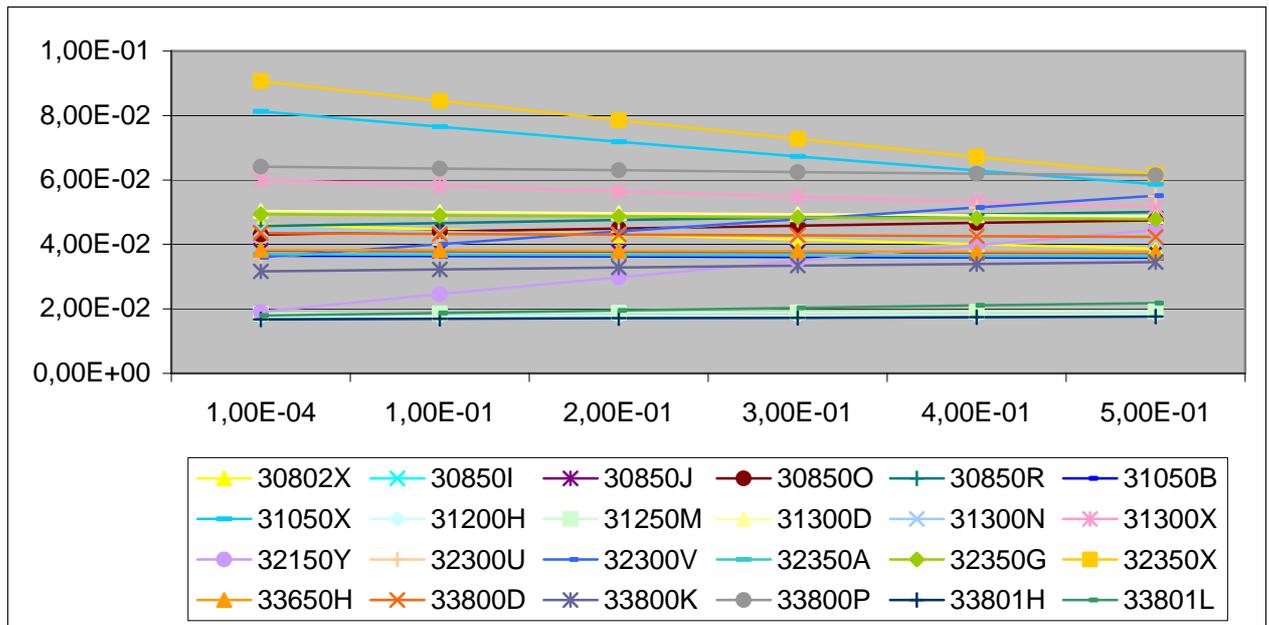
En este caso estamos hablando de un criterio de baja importancia en un cluster de importancia alta, al variar el peso del criterio obtenemos lo siguiente.



Aunque la prioridad total de las alternativas cambia, apenas se producen cambios en la ordenación y si ocurren son reducidos y en alternativas poco importantes, por lo que podemos decir sin lugar a dudas que este criterio apenas afecta a la ordenación de las alternativas en la cartera de proyecto.

**6.3.1.3 Criterio Mejora sistemas de ayuda a la conducción.**

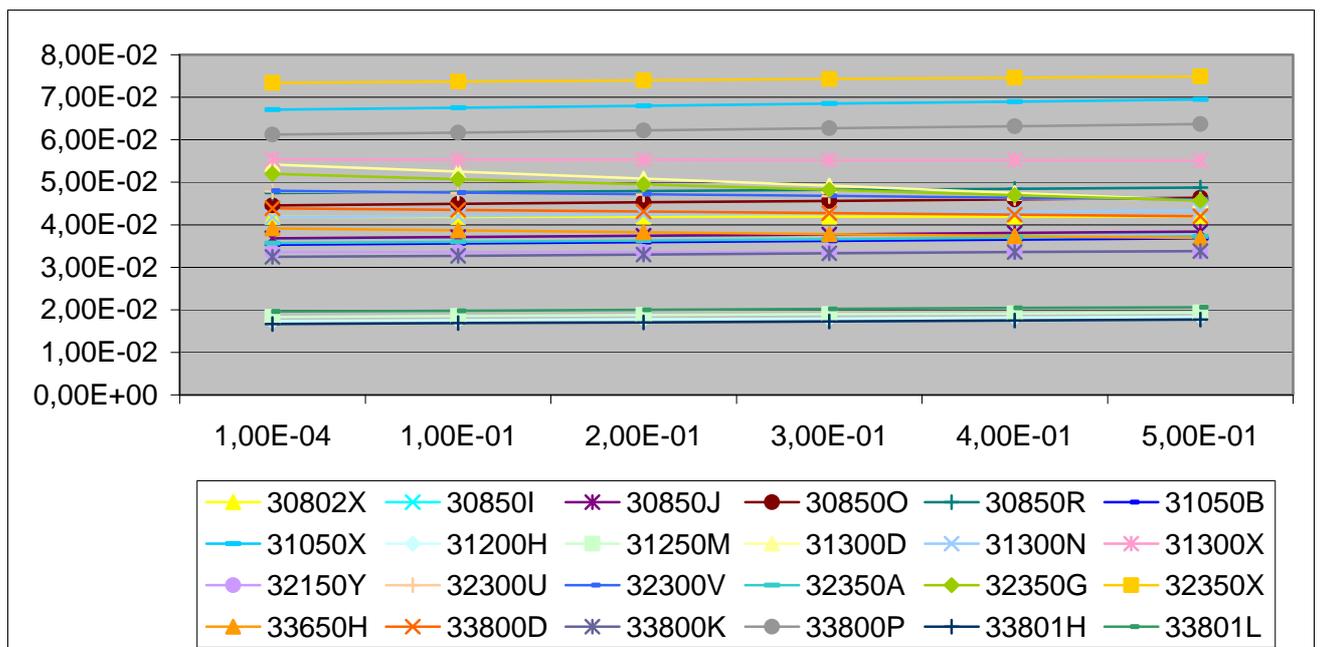
De forma similar a los anteriores vemos como varían las prioridades de las alternativas con el peso del criterio.



Como podemos ver existen cambios pero son reducidos, excepto en el caso de la alternativa 31050B y 32150Y que escalan muchas posiciones en el caso de elevado peso de este criterio, debido principalmente al bajo peso de los criterios que se ven disminuidos al aumentar el peso del criterio estudiado, mejorando su posición relativa.

**6.3.1.4 Criterio Reducción del cantón crítico:**

Este criterio tiene una importancia media, quedando las prioridades de la siguiente manera al evaluarlo.

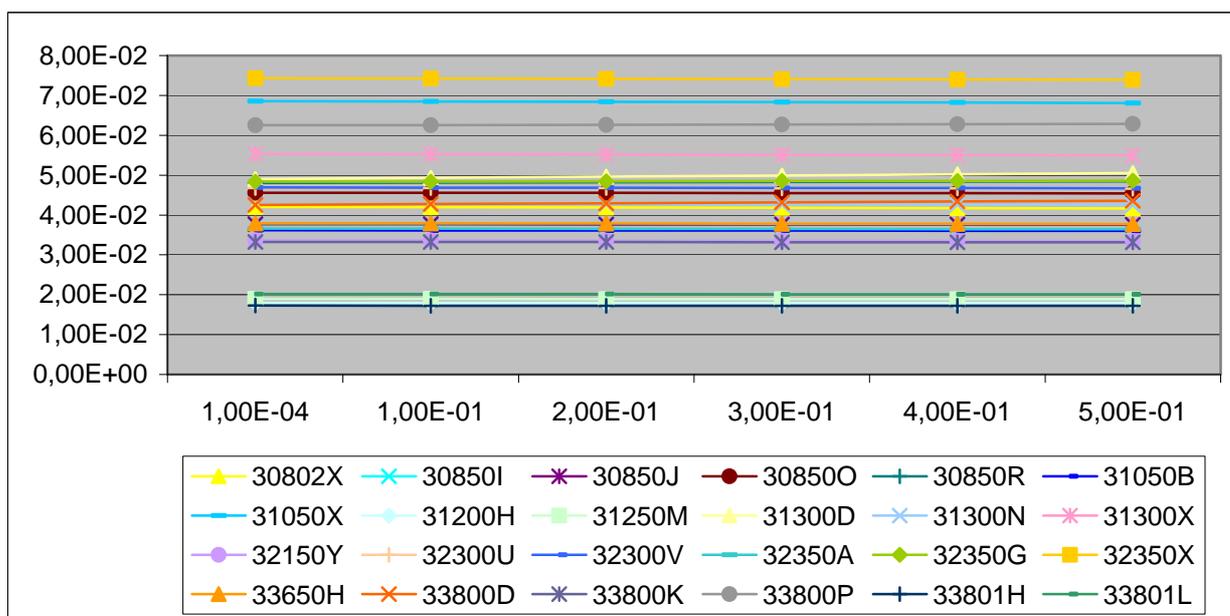


La variación de su peso apenas marca cambios en la ordenación de los criterios y los cambios de peso son también muy reducidos, por lo que, excepto la alternativa 32350G,

muy vinculada al criterio reducción de tiempos de viaje que pierde mucha importancia relativa al priorizarse la reducción del cantón crítico vemos que los pesos obtenidos son bastante robustos para este criterio.

### 6.3.1.5 Criterio Mejora comunicación entre municipios.

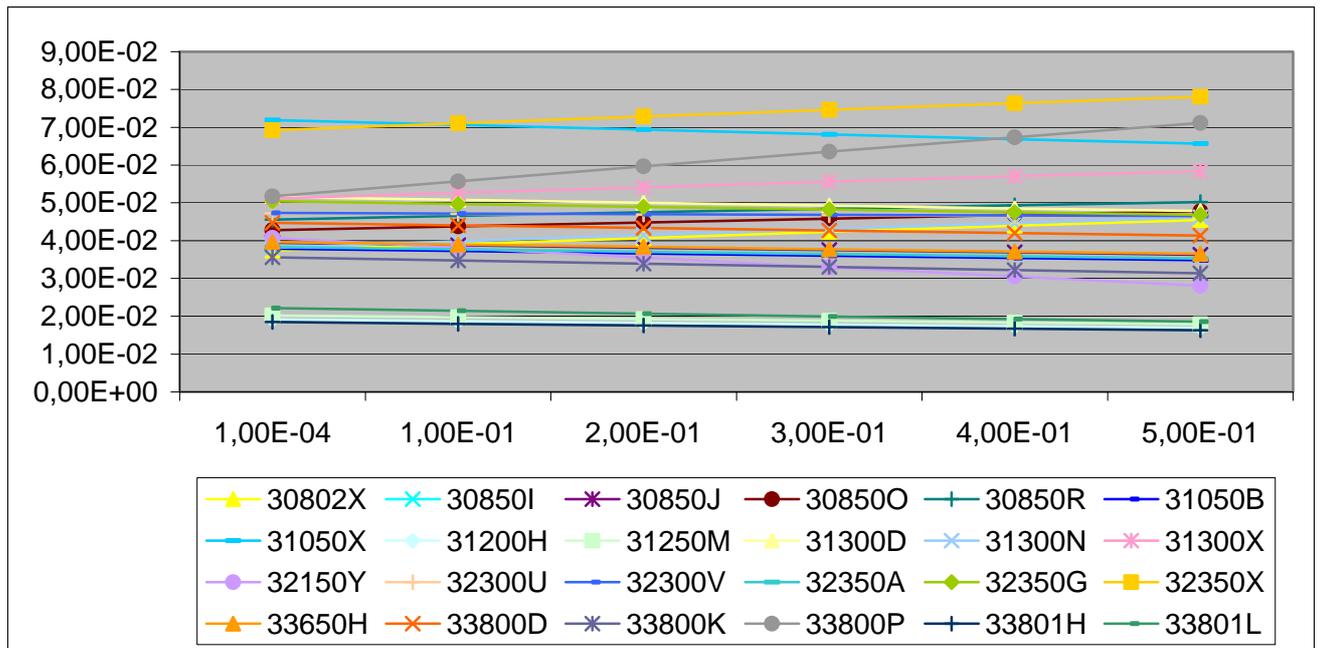
Este criterio pertenece a un cluster poco importante, pero permite evaluar la importancia relativa que puede llegar a alcanzar un elemento de ese cluster.



Con lo que queda claro que estos criterios apenas afectan a la ordenación ni en casos muy extremos.

### 6.4.1.6 Criterio Automatización de itinerarios y bloqueos.

Otro de los criterios fundamentales, gráficamente podemos ver que su variación es la siguiente.



En lo que se produce una inversión de orden entre las primeras alternativas, debida a que cada una depende de un criterio del cluster de seguridad en la circulación, aunque en el entorno de la prioridad obtenida (0,27) el orden se mantiene en un margen muy amplio, siendo además la diferencia de prioridad reducida.

### 6.2.2 Conclusiones del análisis de sensibilidad.

En vista a los resultados obtenidos podemos asegurar que los resultados obtenidos son robustos dentro de un margen aceptable de variaciones de los pesos, configurándose una cartera de alternativas muy estable que no se ve muy afectada por cambios menores de los pesos de los criterios.

Algunas alternativas se ven afectadas cuando su valoración depende mucho de un buen resultado en un criterio determinado, pero suelen tener valoraciones medias y requieren de un gran cambio de peso para ver muy afectada su posición en la ordenación obtenida.

## 7. Conclusiones.

La jerarquía diseñada en este trabajo se ha utilizado para inicialmente realizar una ordenación de un grupo muy grande de alternativas de actuaciones de mejora para seleccionar una cartera de actuaciones con alta prioridad.

A día de hoy se ha utilizado para estudiar las prioridades de entre los proyectos aprobados para su ejecución, para evaluar la bondad del método en situaciones lo mas reales posible.

En el ámbito de la gerencia de mantenimiento de Valencia de ADIF se ha usado puntualmente como herramienta de apoyo a la decisión de apoyar el lanzamiento de los proyectos.

Para trabajar de la forma mas cómoda posible se ha preparado una hoja de calculo en la que se introducen las alternativas a considerar y se valoran con respecto a los criterios realizándose la ordenación de manera directa y no solo ordinal sino también cardinal, obteniendo una lista de proyectos priorizados en base a las preferencias del decisor. El sistema permite gestionar el juicio del decisor.

El uso de este método de ayuda a la decisión multicriterio permite:

- Sistematización de la información obtenida.
- Mejora en la organización y gestión de la información generada por el decisor.
- Conduce al decisor hacia la solución que el mismo ha manifestado.

### 7.1 Desarrollos futuros.

En base a los resultados obtenidos en este trabajo se han abierto varios campos en los que profundizar:

- Estudio de la supresión de criterios poco importantes para reducir el numero de criterios a evaluar y los cambios que generan en la ordenación de la cartera de alternativas.
- Conversión de la jerarquía en una red y estudiar las relaciones entre los criterios.
- Uso de otras metodologías de selección multicriterio como el Promethee o Pres II Multiexperto y comparación de los resultados obtenidos.
- Conversión de la hoja de calculo en una aplicación directa de categorización de proyectos.
- Ampliación a otros ámbitos territoriales o a otras administraciones ferroviarias.

## Bibliografía.

## Artículos:

- Aragonés-Beltrán P. Et al ; An ANP based approach to the selection of photovoltaic solar power plant investment projects ; 2010 ; Renewable and sustainable Energy reviews ; num 14 ; pag 249-264.
- Asmild Mette et Al; Railway reforms : Do they influence operating efficiency; 2009; Transportation; Vol 36; Pag 617-638.
- Brons Martijn et al; Access to railway Stations and its potential in increasing rail use; 2009; Transportation research Part A; Vol 43; Pag 136-149.
- Brons Martijn et al; Economy valuation and policy; 2003; Transportation Research Part D; Vol 8; pag 169-184.
- Cortes Aldana et al; 2009; University Objectives and socioeconomic results: A Multicriteria measuring of alignment; European journal of operational research; num 199; pag 811-822.
- Emberger et Al; “Ideal” decision making processes for transport planning: A comparison between Europe and South East Asia; 2008; Transport policy; Vol 15; Pag 341-349.
- Fitzroy, Felix, Smith, Ian; 1995; The Demand for rail transport in European countries; Transport Policy; Vol 2, Num 3; pag 153-158.
- Haluk Gerçek et al; 2004; A multiple criteria approach for the evaluation of the rail transport networks in Istanbul; Transportation; num 31; pag 203-228.
- Kim, Dom jun et al; Development of an assesment model using AHP, Technique for railroad projects experiencing severe conflicts in Korea; 2005; Proceeding of the eastern Asia Society for transport Studies; vol 5; pag 2260-2274.
- Ribalaygua Batalla, Cecilia et al; Alta velocidad ferroviaria en ciudades pequeñas europeas: nuevas oportunidades para el desarrollo urbano; E.T.S.I. de Caminos Canales y puertos de Ciudad Real. UCLM.
- Saaty, Thomas L; 1997; This is not the analytic Hierarchy process; what the AHP is and what is not; Journal of Multicriteria decision analysis; num 3; pag 320-339.
- Saaty, T.L.; Vargas, L.G.; Experiments on rank preservation and reversal in relative measurement; Mathematical and computer modelling; Vol 17; N°45; Pag 13-18.
- Schöbel, Anita; Capacity constrains in delay management; 2009; Public transport; num 1; pag 135-154.
- Thomas, Lauren J. Et al; Rail passanger perceptions of risk and safety and priorities for improvement; 2006; Cogn Tech work; num 8; pag 67-75.
- Tsamboulas, Dimitrios A.; 2007; A tool for prioritizing multinational transport infrastructure investments; Transport Policy; num 14; pag 11-26.
- Yuan Shaofen et al; The Impact of Dunhuang railway construction on land desertification; 2006; Journal of Geographical sciences; Vol 16; pag 99-104.
- Wijnmalen, Diederik J.D. , Wedley, William C.; 2009; Non Discriminating Criteria and the AHP; Removal and Rank reversal; Journal of multi-criteria Decision analysis; num 15; pag 143-149.

## Apuntes:

- Aznar Bellver, Jerónimo; Guijarro Martínez, Francisco; 2005; nuevos Métodos de Valoración, Modelos Multicriterio; Apuntes.
- García Álvarez Alberto; Incidencia del tren de alta Velocidad en el consumo energético y emisiones del sector transporte; 2006; Presentación VI Semana de la ciencia; Fundación de los ferrocarriles Españoles.
- Moreno-Jimenez J.M. (1996) Metodología Multicriterio en el plan nacional de regadíos. Informe.

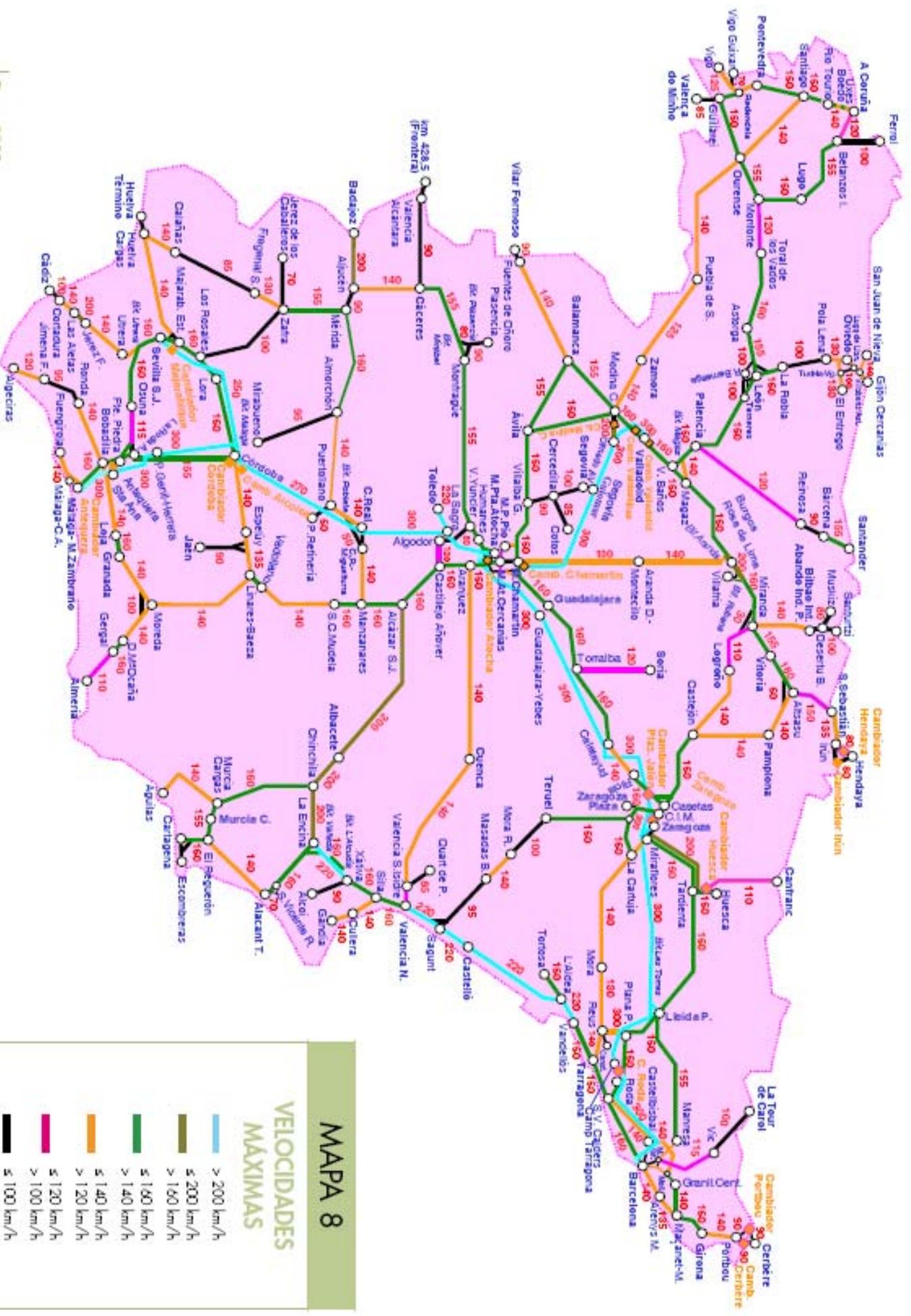
## Libros.

- Kiebling, Friedrich; Puschmann, Rainer; Schmieder, Axel; Contact lines for electric Railways; 2001; Editorial Siemens; 3-89578-152-5.
- Melis Maynar, Manuel;Gonzalez Fernández, Francisco Javier; Ferrocarriles Metropolitanos; 2002; Editorial Colegio de ingenieros de caminos canales y puertos; 84-380-0215-3.
- Ministerio de Fomento; Observatorio del ferrocarril en España, Primer informe;2007; Fundación de los ferrocarriles españoles; 32312-2008.
- Montesinos Ortuño, Jesús; Carmona Suarez, Manuel; Tecnología de catenaria; 2002; Editorial UN de Mantenimiento de infraestructura de RENFE; 84-607-4015-3.
- Saaty, Thomas L.; Toma de decisiones para Lideres; 1997; RWS Publications
- Lichtberger, Bernhard; Manual de Vía; 2007; Editorial Europailpress; 978-3-7771-0362-4.
- López Pita, Andrés; Infraestructuras Ferroviarias; 2006; Ediciones UPC; 84-8301-853-5.

## Normativas:

- Contrato Programa Administración General del estado ADIF 2007-2010; 2007; Contrato ADIF- Ministerio fomento.
- Sistema de gestión de la calidad, Dirección ejecutiva de Red convencional, 2010, ADIF.

## Anexo 1. Distribución geográfica de la red de ADIF.

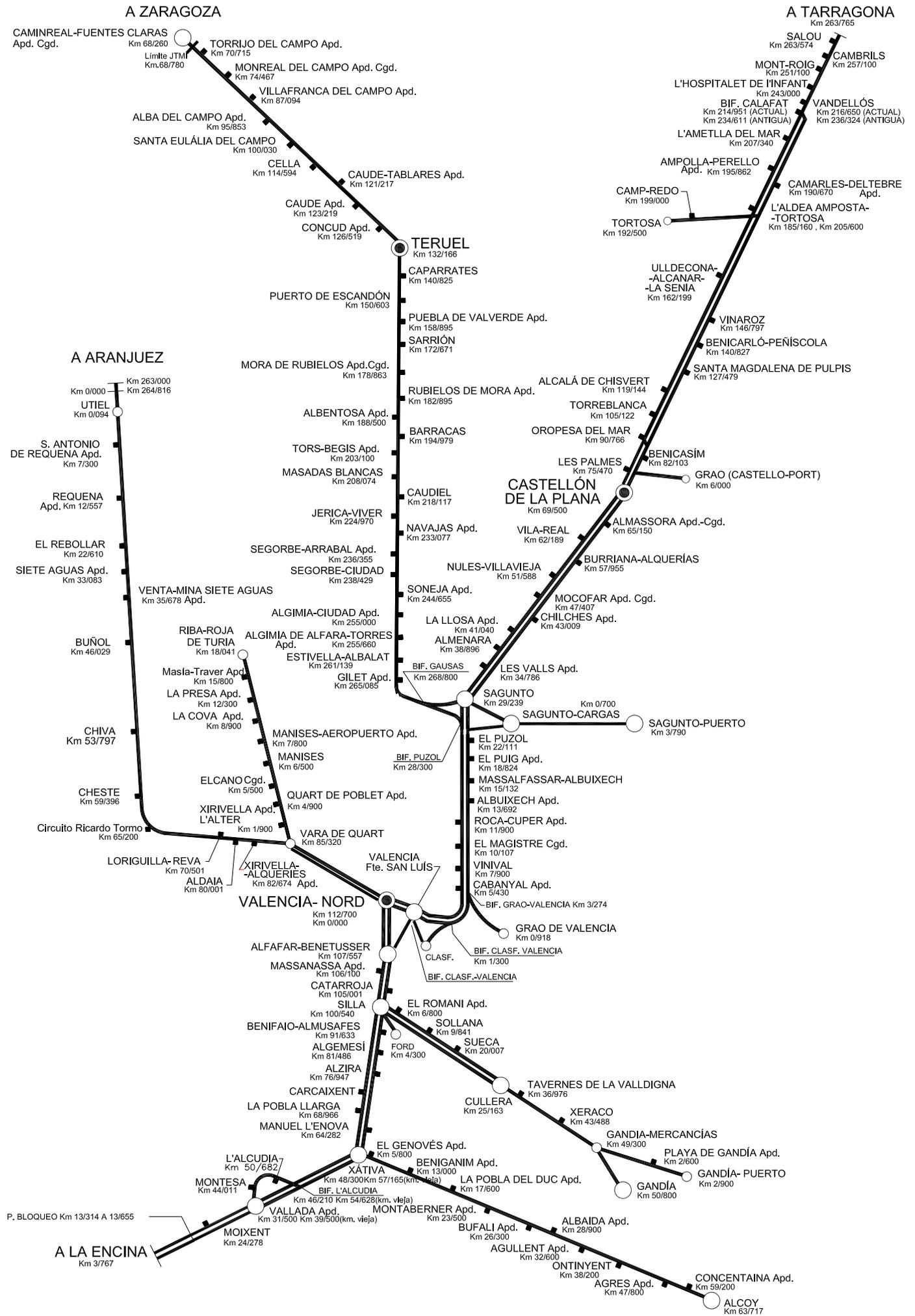


# MAPA 8

## VELOCIDADES MÁXIMAS

- > 200 km/h
- ≤ 200 km/h
- > 160 km/h
- ≤ 160 km/h
- < 140 km/h
- < 120 km/h
- < 100 km/h

Anexo 2. Distribución geográfica de la red de la Gerencia de mantenimiento de Valencia.



### Anexo 3. Listado de tramos y sus características.

COD TRAY.	TRAYECTO	CODIGO RED PARAMETRICO	KMS VIA Parametrizado	TIPO VIA PARAMETRIZADO	VELOCIDAD PARAMETRIZADA	PUNTES PARAMETRIZADOS	TUNELES PARAMETRIZADOS	NUMERO DE ESTACIONES PARAMETRIZADO	TIPO CARRIL PARAMETRIZADO
30750	FUENTE DE LA HIGUERA - MOGENTE	1	0,19954745	0,66666667	1	0,02446145	0,00710475	0,33333333	1
30800	MOGENTE - JATIVA	1	0,69281219	1	1	0,42172335	0	0,66666667	1
30802	BIF.VALLADA - BIF.L ALCUDIA	1	0,46147999	1	0,66666667	0,15631658	0	0	0,66666667
30850	JATIVA - SILLA	1	0,76073045	0,66666667	0,66666667	1	0	1	0,66666667
30851	SILLA - FACTORIA FORD	0	0,03889125	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0,66666667
30900	SILLA - VALENCIA TERMINO	1	0,19922925	0,66666667	0,66666667	0,16902075	0,00092336	0,66666667	0,66666667
30902	ALFAFAR-BENETUSSER - VALENCIA-FUENTE SAN LUIS	0	0,03467508	0,33333333	0,66666667	0	0	0	0,66666667
30950	VALENCIA TERMINO - SAGUNTO	1	0,60924905	0,66666667	1	0,1445593	0,06902124	1	1
30951	VALENCIA-FUENTE SAN LUIS - CLASIF.VALENCIA FTE.S.LUIS	0	0,01317883	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0,66666667
30953	BIF.CLAS.VALENCIA FTE.S.LUIS - CLASIF.VALENCIA FTE.S.LUIS	0	0,01441628	0,33333333	0,66666667	0	0	0	0,66666667
30957	SAGUNTO - PUERTO DE SAGUNTO	0	0,03784825	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0,33333333
31000	SAGUNTO - ALMENARA	1	0,15807524	0,66666667	1	0,00043399	0	0,33333333	0,66666667
31050	ALMENARA - CASTELLON DE LA PLANA	1	0,54394711	0,66666667	0,66666667	0,04517478	0	1	0,66666667
31100	CASTELLON DE LA PLANA - OROPESA DEL MAR	1	0,37918965	0,66666667	1	0,00244615	1	0,66666667	0,66666667
31101	LAS PALMAS - CASTELLON PUERTO	0	0,05720549	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0,33333333
31150	OROPESA DEL MAR - VINAROS	1	1	0,66666667	1	0,08048607	0	0,66666667	1
31200	VINAROS - ULLDECONA	1	0,28061802	0,66666667	1	0,00852205	0	0,33333333	1
31250	ULLDECONA - L ALDEA AMPOSTA	1	0,39053882	0,66666667	1	0,02098951	0	0,33333333	1
31251	L ALDEA AMPOSTA - TORTOSA	1	0,11987343	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0,66666667
31300	L ALDEA AMPOSTA - SALOU	1	0,95265875	0,33333333	0,66666667	0,05428865	0	1	0,66666667
32150	CAMPORROBLES - UTIEL	0	0,18825131	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0
32300	UTIEL - BUNOL	0	0,40860557	0,33333333	0,66666667	0,10190957	0,3745255	0,66666667	0
32350	BUNOL - VARA DE QUART	0,33333333	0,34888983	0,33333333	0,66666667	0,04071648	0	0,66666667	0,33333333
32500	VARA DE QUART - QUART DE POBLET	0,33333333	0,01999364	0,33333333	0,66666667	0	0	1	0,66666667
33600	JATIVA - ONTENIENTE	0	0,33564029	0,33333333	0,33333333	0,06462558	0,08519288	0,66666667	0,33333333
33650	ONTENIENTE - ALCOY	0	0,22473837	0,33333333	0,33333333	0,01515032	0,30355494	0,33333333	0,33333333
33800	SILLA - GANDIA	0,66666667	0,67853734	0,33333333	0,66666667	0,07291091	0,04419309	1	0,33333333
33801	GANDIA MERCANCIAS - GANDIA PUERTO	0	0,02496995	0,33333333	0,66666667	0	0	0,33333333	0,33333333
34200	SAGUNT - SONEJA	0	0,21790588	0,33333333	0,33333333	0,0040243	0	0,66666667	0,66666667
34250	SONEJA - CAUDIEL	0	0,23456725	0,33333333	0,33333333	0	0,0474505	0,66666667	0,66666667
22400	BADULES - SANTA EULALIA DEL CAMPO	0	0,62161469	0,33333333	0,66666667	0,08932376	0,01049041	1	0,66666667
22450	SANTA EULALIA DEL CAMPO - TERUEL	0	0,28813994	0,33333333	0,66666667	0	0	0,66666667	0,66666667
22500	TERUEL - BARRACAS	0	0,55402348	0,33333333	0,33333333	0	0,02759824	1	0,66666667
22550	BARRACAS - CAUDIEL	0	0,19957396	0,33333333	0,33333333	0	0,00229558	0,33333333	0,66666667

TIPO TRAVIESA PARAMET	TIPO LAC PARAMET	TELEM ENERGIA	BLOQ.	ENCLAV	TIPO DE CV	NUMERO DE PaN	TREN TIERRA	INCIDENCIAS AÑO ANTERIOR	INCIDENCIAS 4 AÑOS ANTERIORES	INCIDENCIAS DEBIDO A SEÑALIZACION	INCIDENCIAS DEBIDAS A ELECTRIFICACION	INCIDENCIAS DEBIDAS A VIA	KM TREN PARAMETRIZADAS	TM BRUTAS TRANSPORTE PARAMETRIZADAS
1	1	0	1	1	1	0	1	0,12429379	0,15733333	0,11409396	0	0	0,66259295	0,805157773
1	0,5	0	0,66666667	1	1	0	1	0,42372881	0,34933333	0,39597315	0,5	0,27777778	0,89822953	0,888902987
0,5	0,5	0	0,33333333	1	0,25	0,33333333	1	0,03389831	0,09733333	0,03355705	0,08333333	0	0,78637562	0,902383643
0,5	0,5	0	0,66666667	0,66666667	1	0,33333333	1	0,82485876	0,38266667	0,91275168	0,33333333	0,33333333	0,9999546	0,9999546
0	0,5	0	0	0	0	0	0	0,01129944	0,01733333	0,01342282	0	0	0,02488949	0,059432999
1	0,5	0	1	1	1	0,33333333	1	0	0,06266667	0	0	0	0,97864397	0,951390146
1	0,5	0	0,66666667	0	1	0	1	0,02259887	0,036	0,01342282	0,08333333	0	0,19887112	0,358598151
1	0,5	1	1	0,66666667	1	0	1	0,8700565	0,38266667	0,67114094	0,83333333	1	0,9988364	0,998734527
0,5	0,5	0	1	0	1	0	1	0,01129944	0,072	0,00671141	0,08333333	0	0,02026158	0,041973592
0,5	0,5	0	1	1	1	0	0	0,03954802	0,112	0,01342282	0,08333333	0,05555556	0,00649383	0,011975058
0	0	0	0	0,66666667	1	0	0	0,01694915	0,01733333	0	0,08333333	0,11111111	0	0
1	1	0	1	1	1	0	1	0,04519774	0,09333333	0,03355705	0	0,05555556	0,81788977	0,821144227
0,5	0,5	0	0,66666667	0,66666667	1	0,33333333	1	0,6440678	0,512	0,56375839	0,58333333	0,38888889	0,99499689	0,995296656
0,5	1	0	1	1	1	0	1	0,3220339	0,444	0,30201342	0,25	0,11111111	0,81973263	0,928214712
0	0,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	0	1	0,9039548	1	0,9261745	0,58333333	0,22222222	0,98569638	0,99873513
1	1	0	1	1	1	0	1	0,28248588	0,256	0,30201342	0,08333333	0,11111111	0,69863435	0,844805564
1	1	0	1	1	1	0	1	0,19774011	0,212	0,16778523	0,16666667	0,11111111	0,83337503	0,938175869
0,5	0,5	0	0,66666667	0,66666667	0,75	0,33333333	1	0,09039548	0,13466667	0,08053691	0	0,16666667	0,37457571	0,324219353
0	0,5	0	0,66666667	0,66666667	1	0,66666667	1	0,89265537	0,82266667	0,77181208	1	0,88888889	0,99594337	0,999715154
0	0	0	0	0,33333333	0	0	0	0,06779661	0,04666667	0,06711409	0	0,05555556	0,21836235	0,111293292
0,5	0	0	0	0,33333333	0	0,33333333	1	0,28813559	0,24	0,2147651	0	0,38888889	0,64079447	0,3908548
0,5	0	0	0,66666667	0,66666667	0,75	1	1	0,51412429	0,37733333	0,52348993	0	0,16666667	0,92314292	0,716402868
0,5	0	0	0,66666667	0	0,75	0	1	0	0,00933333	0	0	0	0,31183055	0,159231768
0	0	0	0	0,33333333	0	0,33333333	0	0,19774011	0,07066667	0,20805369	0	0,22222222	0,34408704	0,182888322
0	0	0	0	0,33333333	0	0	0	0	0,01333333	0	0	0	0,24475163	0,12579631
0	0,5	0	0,66666667	0,66666667	0,75	1	1	1	0,74533333	1	1	0,38888889	0,9954561	0,966782943
1	0,5	0	0,66666667	0,33333333	0,75	0,33333333	0	0,03954802	0,03866667	0,04697987	0	0	0,02088095	0,011888923
0,5	0	0	0,33333333	1	0,25	0	1	0,22033898	0,148	0,18120805	0	0,61111111	0,45920896	0,316804593
0,5	0	0	0,33333333	1	0,25	0,33333333	1	0,10169492	0,16266667	0,11409396	0	0,05555556	0,4752798	0,334704393
0,5	0	0	0,33333333	1	0,25	0	1	0,10734463	0,092	0,10738255	0	0,16666667	0,08138337	0,163768079
0,5	0	0	0,33333333	1	0,25	0,33333333	1	0,26553672	0,19866667	0,10738255	0	0,44444444	0	0
0,5	0	0	0,33333333	1	0,25	0,33333333	1	0,18644068	0,25333333	0,12080537	0	0,66666667	0,51472698	0,43631466
0,5	0	0	0,33333333	1	0,25	0	1	0,08474576	0,06	0,09395973	0	0,05555556	0,23319781	0,189834074

## Anexo 4. Listado de tramos parametrizados

COD TRAY.	TRAYECTO	COD. RED	KMSVIA	TIPO VÍA	VELOC. MIN.	VELOC. MAX.	TIPO VELOC. COMER.	NUM. PTES	KMS. PTES	NUM. TUNEL	KMS. TUNEL	Nº ESTAC	TIPO CARRIL
30750	FUENTE DE LA HIGUERA - MOGENTE	A1	22,576	Doble	0		220	5	0,124	2	0,277	1	60
30800	MOGENTE - JATIVA	A1	78,382	Triple	0	220	220	21	0,509	0	0	5	60
30802	BIF.VALLADA - BIF.L.ALCUDIA	A1	52,21	Triple	0	160	160	14	0,283	0	0	0	54
30850	JATIVA - SILLA	A1	86,066	Doble	0	160	160	23	1,102	0	0	9	54
30851	SILLA - FACTORIA FORD	C	4,4	Única	0		140	0	0	0	0	1	54
30900	SILLA - VALENCIA TERMINO	A1	22,54	Doble	0	140	160	9	0,476	1	0,072	4	54
30902	ALFAFAR-BENETUSSER - VALENCIA-FUENTE SAN LUIS	C	3,923	Única	0		160	0	0	0	0	0	54
30950	VALENCIA TERMINO - SAGUNTO	A1	68,928	Doble	0	220	220	4	0,916	2	2,691	12	60
30951	VALENCIA-FUENTE SAN LUIS - CLASIF.VALENCIA FTE.S.LUIS	C	1,491	Única	0		140	0	0	0	0	1	54
30953	BIF.CLAS.VALENCIA FTE.S.LUIS - CLASIF.VALENCIA FTE.S.LUIS	C	1,631	Única	0		140	0	0	0	0	0	54
30957	SAGUNTO - PUERTO DE SAGUNTO	C	4,282	Única	0		140	0	0	0	0	2	45
31000	SAGUNTO - ALMENARA	A1	17,884	Única	0	220	220	1	0,011	0	0	2	54
31050	ALMENARA - CASTELLON DE LA PLANA	A1	61,54	Única	0	160	160	5	0,229	0	0	9	54
31100	CASTELLON DE LA PLANA - OROPESA DEL MAR	A1	42,9	Única	0	220	220	2	0,031	9	8,664	4	54
31101	LAS PALMAS - CASTELLON PUERTO	C	6,472	Única	0		140	0	0	0	0	1	45
31150	OROPESA DEL MAR - VINAROS	A1	113,136	Única	0	220	220	8	0,255	0	0	8	60
31200	VINAROS - ULLDECONA	A1	31,748	Única	0		220	3	0,072	0	0	3	60
31250	ULLDECONA - L.ALDEA AMPOSTA	A1	44,184	Única	0	220	220	4	0,133	0	0	1	60
31251	L.ALDEA AMPOSTA - TORTOSA	A1	13,562	Única	0		160	0	0	0	0	2	54
31300	L.ALDEA AMPOSTA - SALOU	A1	107,78	Única	0	160	160	4	0,344	0	0	9	54
32150	CAMPORROBLES - UTIEL	C	21,298	Única	0	140	140	0	0	0	0	2	42,5
32300	UTIEL - BUNOL	C	46,228	Única	0	140	140	9	0,287	14	2,086	6	42,5
32350	BUNOL - VARA DE QUART	B	39,472	Única	0	140	140	3	0,344	0	0	6	54/42,5
32500	VARA DE QUART - QUART DE POBLET	B	2,262	Única	0		140	0	0	0	0	9	54
33600	JATIVA - ONTENIENTE	C	37,973	Única	0	90	90	7	0,234	7	0,949	8	45
33650	ONTENIENTE - ALCOY	C	25,426	Única	0	70	90	4	0,096	10	2,367	3	45
33800	SILLA - GANDIA	A2	76,767	Única	0	140	140	7	0,264	2	1,723	9	45/54
33801	GANDIA MERCANCIAS - GANDIA PUERTO	C	2,825	Única	0	40	140	0	0	0	0	2	45
34200	SAGUNT - SONEJA	C	24,653	Única	0	95	95	2	0,051	0	0	7	54
34250	SONEJA - CAUDIEL	C	26,538	Única	0	95	95	0	0	4	0,925	4	54
22400	BADULES - SANTA EULALIA DEL CAMPO	C	70,327	Única	0	160	160	8	0,283	1	0,818	12	54
22450	SANTA EULALIA DEL CAMPO - TERUEL	C	32,599	Única	0	160	160	0	0	0	0	6	54
22500	TERUEL - BARRACAS	C	62,68	Única	0	140	100	0	0	4	0,538	9	54
22550	BARRACAS - CAUDIEL	C	22,579	Única	0	120	100	0	0	1	0,179	3	54

CARACTERÍSTICAS														USO	
TIPO TRAVIESA	TIPO LAC	VELOC. MAX LAC	TELEM ENERGIA	BLOQ.	ENCLAV	TIPO DE CV	NUMERO DE PaN	TREN TIERRA	INCIDENCIA S AÑO ANTERIOR	INCIDENCIA S 4 AÑOS ANTERIORES	INCIDENCIA S DEBIDO A SEÑALIZACION	INCIDENCIA S DEBIDAS A ELECTRIFICACION	INCIDENCIA S DEBIDAS A VIA	KMS. TREN	TM_BRUTA S_KM
DW	CR220	220	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia	0	SI	22	118	17	0	0	204452	92007504
DW	CR160	160	NO	BAB / BAD	Electrónico	Audiofrecuencia	0	SI	75	262	59	6	5	430000	123610377
RS	CR160	160	NO	BLAU	Electrónico	Contadores ejes	4	SI	6	73	5	1	0	290464	130887357
RS	CR160	160	NO	BAD	Grupos geograf. / No tiene	Audiofrecuencia/50Hz	3	SI	146	287	136	4	6	1881809	562542583
Madera	CR160	160	NO	Telefónico	No tiene	No	0	NO	2	13	2	0	0	4743	3446833
DW	CR160	160	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia/50Hz	1	SI	0	47	0	0	0	723823	170108884
DW	CR160	160	NO	BAU	Electrónico	Audiofrecuencia	0	SI	4	27	2	1	0	41726	24982466
PB	CR160	160	SI	BAB	Grupos geograf. / No tiene	Audiofrecuencia	0	SI	154	287	100	10	18	1271394	375345805
RS	CR160	160	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia	0	SI	2	54	1	1	0	3852	2412179
RS	CR160	160	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia	0	NO	7	84	2	1	1	1226	677714
Madera	NO	0	NO	Telefónico	Grupos geograf. / No tiene	Audiofrecuencia	0	NO	3	13	0	1	2		
PB	CR220	220	NO	BAB	Electrónico / No tiene	Audiofrecuencia	0	SI	8	70	5	0	1	320499	96823453
RS	CR160	160	NO	BAD	Electrónico / Grupos geograf. / No tiene	Audiofrecuencia	1	SI	114	384	84	7	7	996925	301493663
RS	CR220	220	NO	BAB	Electrónico / No tiene	Audiofrecuencia	0	SI	57	333	45	3	2	322413	148177976
Madera	CR160	160	NO	Telefónico	No tiene	No	0	NO	0	0	0	0	0		
PB	CR220	220	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia	0	SI	160	750	138	7	4	799250	375372640
PB	CR220	220	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia/50Hz	0	SI	50	192	45	1	2	225710	104805988
PB	CR220	220	NO	BAB	Electrónico	Audiofrecuencia	0	SI	35	159	25	2	2	337222	156581563
RS	CR160	160	NO	BAU	Cableado libre	50 Hz	4	SI	16	101	12	0	3	88318	22045298
DW/Madera	CR160	160	NO	BAB / BAU	Cableado libre / Electrónico / No tiene	Audiofrecuencia	8	SI	158	617	115	12	16	1036388	459235062
Madera	NO	0	NO	Telefónico	Boure / Mecánico	No	0	NO	12	35	10	0	1	46361	6637328
RS/Madera	NO	0	NO	Telefónico	Boure / Grupos geograf. / No tiene	No	3	SI	51	180	32	0	7	192671	27885158
RS/Madera	NO	0	NO	BAU	Grupos geograf.	50 Hz	12	SI	91	283	78	0	3	482836	70891650
RS	NO	0	NO			50 Hz	0	SI	0	7	0	0	0	70327	9756696
Madera	NO	0	NO	Telefónico	Boure	No	1	NO	35	53	31	0	4	79361	11362207
Madera	NO	0	NO	Telefónico	Boure	No	0	NO	0	10	0	0	0	52824	7562928
Madera/RS	CR160	160	NO	BAD / BAU	Grupos geograf.	50 Hz	11	SI	177	559	149	12	7	1015042	191528411
DW	CR160	160	NO	BAU / Telefón	Boure / No tiene	50 Hz	1	NO	7	29	7	0	0	3971	672810
RS	NO	0	NO	BAU / BLAU	Boure / Electrónico / Grupos geograf.	Contadores ejes	0	SI	39	111	27	0	11	115679	21431430
RS	NO	0	NO	BLAU	Electronico	Contadores ejes	1	SI	18	122	17	0	1	121356	22924950
RS	NO	0	NO	BLAU	Electronico	Contadores ejes	0	SI	19	69	16	0	3	15974	10061034
RS	NO	0	NO	BLAU	Electronico	Contadores ejes	1	SI	47	149	16	0	8		
RS	NO	0	NO	BLAU	Electronico	Contadores ejes	1	SI	33	190	18	0	12	136063	32248265
RS	NO	0	NO	BLAU	Electronico	Contadores ejes	0	SI	15	45	14	0	1	49967	11842433

## Anexo 5. Listado de actuaciones Valoradas.

COD TRAY.	TRAYECTO	C1 Reduccion de PaN	C2 Mejora de la señalización de pasos a nivel	C3 Mejora de los sistemas de ayuda a la conducción	C4 Reducción de los tiempos de viaje	C5 Reducción del cantón crítico	C6 Aumento del numero de circulaciones	C7 Reducción en el numero de incidencias	C8 Reducción de los retrasos	C9 Reducción de los costes de Mantenimiento	C10 Mejora de la diagnosis del equipamiento
<b>30750</b>	<b>FUENTE DE LA HIGUERA - MOGENTE</b>										
30750A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30750H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
30750I	Acondicionado Catenaria CR220 y Renovacion de Hilo contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
30750K	Montaje de control distribuido en subestaciones	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30750L	Montaje de telemando de Seccionadores	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30750M	Construccion de Subestacion Adicional	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30750P	Construccion P. Bloqueo intermedios y reduccion canton critico	Indiferente	Despreciable	Significativa	Mayor 5%	Mayor 5%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
<b>30800</b>	<b>MOGENTE - JATIVA</b>										
30800A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30800H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
30800I	Acondicionado Catenaria CR220 y Renovacion de Hilo contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
30800J	Acondicionado Catenaria CR160 y Renovacion de Hilo de contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
30800K	Montaje de control distribuido en subestaciones	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Mayor 10%	Menor 1%	Mejora elevada
30800L	Montaje de telemando de Seccionadores	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Mayor 10%	Menor 1%	Mejora elevada
30800M	Construccion de Subestacion Adicional	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30800P	Construccion P. Bloqueo intermedios y reduccion canton critico	Indiferente	Despreciable	Significativa	Mayor 5%	Mayor 5%	Mayor 20%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30800R	Cambio de BAD por BAB	Indiferente	Despreciable	Alta	Menor 1%	Mayor 5%	Mayor 20%	Menor 1%	Mayor 10%	Aumento 10%	Mejora significativa
<b>30802</b>	<b>BIF.VALLADA - BIF.L ALCUDIA</b>										
30802A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30802B	Renovacion Via UIC 54 y traviesa RS	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30802C	Renovacion Via UIC 54 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30802D	Conversion Via Unica a Doble (solo infra e Via)	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 100%	Menor 1%	Mayor 50%	Aumento 20%	Mejora despreciable
30802E	Sustitucion Desvios tipo A por B	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30802G	Sustitucion Desvios tipo A por C	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 10%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 25%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30802H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 10%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
30802I	Acondicionado Catenaria CR220 y Renovacion de Hilo contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30802J	Acondicionado Catenaria CR160 y Renovacion de Hilo de contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30802K	Montaje de control distribuido en subestaciones	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30802L	Montaje de telemando de Seccionadores	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30802M	Construccion de Subestacion Adicional	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30802N	Sustitucion Enclavamientos por electronicos y CV Audiofrecuencia	Indiferente	Significativa	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora significativa
30802O	Sustitucion Bloqueo electrico por electronico	Indiferente	Significativa	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora significativa
30802P	Construccion P. Bloqueo intermedios y reduccion canton critico	Indiferente	Significativa	Alta	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 20%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30802Q	Cambio de BLAU por BAU	Indiferente	Significativa	Alta	Mayor 5%	Mayor 5%	Mayor 20%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30802X	Supresion de PaN	Parcial	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 20%	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>30850</b>	<b>JATIVA - SILLA</b>										
30850A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30850B	Renovacion Via UIC 54 y traviesa RS	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850C	Renovacion Via UIC 54 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850E	Sustitucion Desvios tipo A por B	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Mayor 5%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Aumento 20%	Mejora despreciable
30850F	Sustitucion Desvios tipo B por C	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Mayor 5%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850G	Sustitucion Desvios tipo A por C	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 10%	Menor 1%	Mejora despreciable
30850I	Acondicionado Catenaria CR220 y Renovacion de Hilo contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850J	Acondicionado Catenaria CR160 y Renovacion de Hilo de contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850K	Montaje de control distribuido en subestaciones	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30850L	Montaje de telemando de Seccionadores	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30850M	Construccion de Subestacion Adicional	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30850N	Sustitucion Enclavamientos por electronicos y CV Audiofrecuencia	Indiferente	Significativa	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora significativa
30850O	Sustitucion Bloqueo electrico por electronico	Indiferente	Significativa	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora significativa
30850P	Construccion P. Bloqueo intermedios y reduccion canton critico	Indiferente	Significativa	Alta	Mayor 5%	Mayor 5%	Mayor 20%	Menor 1%	Mayor 10%	Aumento 10%	Mejora significativa
30850R	Cambio de BAD por BAB	Indiferente	Significativa	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Mayor 20%	Menor 1%	Mayor 10%	Menor 1%	Mejora despreciable
30850X	Supresion de PaN	Parcial	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Mayor 25%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>30851</b>	<b>SILLA - FACTORIA FORD</b>										
30851A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30851B	Renovacion Via UIC 54 y traviesa RS	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851C	Renovacion Via UIC 54 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851D	Conversion Via Unica a Doble (solo infra e Via)	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Mayor 100%	Aumento	Mayor 25%	Aumento 20%	Mejora despreciable
30851E	Sustitucion Desvios tipo A por B	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Mayor 5%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851F	Sustitucion Desvios tipo B por C	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Mayor 5%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851G	Sustitucion Desvios tipo A por C	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Mayor 5%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable
30851H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Mayor 5%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851I	Acondicionado Catenaria CR220 y Renovacion de Hilo contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851J	Acondicionado Catenaria CR160 y Renovacion de Hilo de contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30851L	Montaje de telemando de Seccionadores	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
30851N	Sustitucion Enclavamientos por electronicos y CV Audiofrecuencia	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora significativa
30851P	Construccion P. Bloqueo intermedios y reduccion canton critico	Indiferente	Despreciable	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Mayor 20%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora significativa
30851S	Cambio de BT por BLAU	Indiferente	Despreciable	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Mayor 20%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
30851T	Cambio de BT por BAU	Indiferente	Despreciable	Muy alta	Menor 1%	Menor 1%	Mayor 20%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora elevada
30851Y	Montaje de Tren tierra	Indiferente	Despreciable	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
<b>30900</b>	<b>SILLA - VALENCIA TERMINO</b>										
30900A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 25%	Mejora despreciable























## Anexo 6. Comparaciones pareadas de los criterios.

Con respecto a goal	Seguridad en la circulación	Eficiencia en la explotación	Eficiencia técnica	Utilidad social	Criterios Medioambientales	Criterios económicos	Tramo de vía
Seguridad en la circulación	1	5	5	7	9	7	3
Eficiencia en la explotación	0.20000	1	3	5	7	3	1
Eficiencia técnica	0.20000	0.33333	1	1	5	3	3
Utilidad social	0.14286	0.20000	1	1	5	1	0.33333
Criterios Medioambientales	0.11111	0.14286	0.20000	0.20000	1	0.20000	0.20000
Criterios económicos	0.14286	0.33333	0.33333	1	5	1	1
Tramo de vía	0.33333	1	0.33333	3	5	1	1

Grupo 1	1 Reducción PaN	2 Mejora señalización PaN	3 Mejora Ayuda a la conducción	23 Automatización de itinerarios y bloqueos
1 Reducción PaN	1	9	1	1
2 Mejora señalización PaN	0.11111	100.000	0.33330	0.33333
3 Mejora Ayuda a la conducción	1	3	1	1
23 Automatización de itinerarios y bloqueos	1	3	1	1

Grupo 2	4 Reducción tiempos de viaje	5 Reducción del cantón crítico	6 Aumento del numero de circulaciones	24 Mejora sistemas de explotación
4 Reducción tiempos de viaje	1	3	3	9
5 Reducción del cantón crítico	0.33333	1	3	7
6 Aumento del numero de circulaciones	0.33333	0.33333	1	7
24 Mejora sistemas de explotación	0.11111	0.14286	0.14286	1

Grupo 3	7 Reducción del numero de incidencias	8 Reducción de los retrasos	9 Reducción costes mantenimiento	10 Mejora diagnosis equipamiento
7 Reducción del numero de incidencias	1	5	7	9
8 Reducción de los retrasos	0.20000	1	7	7
9 Reducción costes mantenimiento	0.14286	0.14286	1	1
10 Mejora diagnosis equipamiento	0.11111	0.14286	1	1

Grupo 4	11 Mejora comunicaciones entre municipios	12 Aumento seguridad vial	13 Mejora permeabilidad urbana
11 Mejora comunicaciones entre municipios	1	0.20000	1
12 Aumento seguridad vial	5	1	5
13 Mejora permeabilidad urbana	1	0.20000	1

Grupo 5	14 Reducción contaminación acústica	15 Mejora eficiencia energética	16 Impacto Ambiental en obras	17 Reducción IA en explotación
14 Reducción contaminación acústica	1	1	5	0.33333
15 Mejora eficiencia energética	1	1	3	0.33330
16 Impacto Ambiental en obras	0.20000	0.33333	1	0.14286
17 Reducción IA en explotación	3	3	7	1

Grupo 6	18 coste actuación	19 coste de mejoras subsiguientes	20 Coste de explotación futura	21 Tiempo de amortización de la actuación
18 coste actuación	1	5	1	5
19 coste de mejoras subsiguientes	0.20000	1	0.20000	0.33333
20 Coste de explotación futura	1	5	1	1
21 Tiempo de amortización de la actuación	0.20000	3	1	1

## Anexo 7. Comparaciones pareadas de las categorías.

Criterio 1	Total	Parcial	Significativa	Indiferente	Aumento
Total	1	5	7	9	25
Parcial	0.20000	1	5	7	9
Significativa	0.14286	0.20000	1	5	7
Indiferente	0.11111	0.14286	0.20000	1	5
Aumento	0.04000	0.11111	0.14286	0.20000	1

Criterio 2	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Reducción
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	5	7	9
Significativa	0.20000	0.20000	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.14286	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.11111	0.20000	0.33333	1

Criterio 3	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Reducción
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	3	5	7
Significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	5
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.20000	1

Criterio 4	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 5%	Menor 1%	Reducción
Mayor 20%	1	3	5	7	9
Mayor 10%	0.33333	1	3	5	7
Mayor 5%	0.20000	0.33333	1	3	5
Menor 1%	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 5	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 5%	Menor 1%	Reducción
Mayor 20%	1	3	5	7	9
Mayor 10%	0.33333	1	3	5	7
Mayor 5%	0.20000	0.33333	1	3	5
Menor 1%	0.14286	0.20000	0.33333	1	7
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.14286	1

Criterio 6	Mayor 100%	Mayor 50%	Mayor 20%	Menor 10%	Reducción
Mayor 100%	1	3	5	7	9
Mayor 50%	0.33333	1	3	5	7
Mayor 20%	0.20000	0.33333	1	3	5
Menor 10%	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 7	Mayor 50%	Mayor 20%	Mayor 10%	Menor 1%	Aumento
Mayor 50%	1	3	5	7	9
Mayor 20%	0.33333	1	3	5	7
Mayor 10%	0.20000	0.33333	1	3	5
Menor 1%	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Aumento	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Critero 8	Mayor 50%	Mayor 25%	Mayor 10%	Menor 5%	Aumento
Mayor 50%	1	3	5	7	9
Mayor 25%	0.33333	1	3	5	7
Mayor 10%	0.20000	0.33333	1	3	5
Menor 5%	0.14286	0.20000	0.03226	1	3
Aumento	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Critero 9	Mayor 50%	Mayor 25%	Mayor 10%	Menor 1%	Aumento 10%	Aumento 20%
Mayor 50%	1	200.000	3	5	7	9
Mayor 25%	0.50000	1	3	5	7	9
Mayor 10%	0.33333	0.33333	1	3	5	7
Menor 1%	0.20000	0.20000	0.33333	1	3	5
Aumento 10%	0.14286	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Aumento 20%	0.11111	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Critero 10	Mucha Mejora	Mejora elevada	Mejora significativa	Mejora despreciable	Reducción
Mucha Mejora	1	3	5	7	9
Mejora elevada	0.33333	1	3	5	7
Mejora significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Mejora despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Critero 11	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Reducción
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	3	5	7
Significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Critero 12	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Reducción
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	3	5	7
Significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Critero 13	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Reducción
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	3	5	7
Significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 14	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Aumento
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	3	5	7
Significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Aumento	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 15	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 5%	Menor 1%	Reducción
Mayor 20%	1	3	5	7	9
Mayor 10%	0.33333	1	3	5	7
Mayor 5%	0.20000	0.33333	1	3	5
Menor 1%	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Reducción	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 16	Muy alto	Alto	Medio	Bajo	Despreciable
Muy alto	1	0.33333	0.20000	0.14286	0.11111
Alto	3	1	0.33333	0.20000	0.14286
Medio	5	3	1	0.33333	0.20000
Bajo	700.001	5	3	1	0.33330
Despreciable	900.001	700.001	5	300.030	1

Criterio 17	Muy alta	Alta	Significativa	Despreciable	Aumento
Muy alta	1	3	5	7	9
Alta	0.33333	1	3	5	7
Significativa	0.20000	0.33333	1	3	5
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1	3
Aumento	0.11111	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 18	Mayor 45 Meuros	Mayor 25 Meuros	Mayor 15 Meuros	Mayor 7 Meuros	Mayor 3 Meuros	Menor 3 Meuros
Mayor 45 Meuros	1	0.20000	0.33333	1	3	5
Mayor 25 Meuros	5	1	3	5	7	9
Mayor 15 Meuros	3	0.33333	1	5	7	9
Mayor 7 Meuros	1	0.20000	0.20000	1	5	7
Mayor 3 Meuros	0.33333	0.14286	0.14286	0.20000	1	5
Menor 3 Meuros	0.20000	0.11111	0.11111	0.14286	0.20000	1

Criterio 19	Muy alto	Alto	Importante	Despreciable
Muy alto	1	0.33333	0.20000	0.14286
Alto	3	1	0.33333	0.20000
Importante	5	3	1	0.14290
Despreciable	700.001	5	699.790	1

Criterio 20	Mayor 120%	Mayor 110%	Mayor 100%	Mayor 80%	Mayor 60%	Menor 50%
Mayor 120%	1	1	0.33333	0.20000	0.14286	0.11111
Mayor 110%	1	1	1	0.33333	0.20000	0.14286
Mayor 100%	3	1	1	0.33330	5	7
Mayor 80%	5	3	300.030	1	3	5
Mayor 60%	700.001	5	0.20000	0.33333	1	3
Menor 50%	900.001	700.001	0.14286	0.20000	0.33333	1

Criterio 21	Mayor 50 años	Mayor 30 años	Mayor 20 años	Mayor 10 años	Mayor 5 años	Menor 5 años
Mayor 50 años	1	0.20000	0.14286	0.20000	0.14286	1
Mayor 30 años	5	1	0.33333	1	1	5
Mayor 20 años	700.001	3	1	1	3	5
Mayor 10 años	5	1	1	1	3	5
Mayor 5 años	700.001	1	0.33333	0.33333	1	1
Menor 5 años	1	0.20000	0.20000	0.20000	1	1

Criterio 22	L. Troncal Buenas prestaciones	L. Troncal con PaN	L. Troncal con vía única	L. Troncal alta incidencia	L. Secundarias	Ramales Técnicos
L. Troncal Buenas prestaciones	1	0.11111	0.20000	0.33333	3	5
L. Troncal con PaN	900.001	1	7	3	7	15
L. Troncal con vía única	5	0.14286	1	0.20000	7	15
L. Troncal alta incidencia	3	0.33333	5	1	7	9
L. Secundarias	0.33333	0.14286	0.14286	0.14286	1	5
Ramales Técnicos	0.20000	0.06667	0.06667	0.11111	0.20000	1

Criterio 23	Muy Alta	Alta	Significativa	Despreciable
Muy Alta	1	3	5	7
Alta	0.33333	1	3	5
Significativa	0.20000	0.33333	1	30
Despreciable	0.14286	0.20000	0.03333	1

Criterio 24	Muy Alta	Alta	Significativa	Despreciable
Muy Alta	1	3	5	7
Alta	0.33333	1	3	5
Significativa	0.20000	0.33333	1	3
Despreciable	0.14286	0.20000	0.33333	1

## Anexo 8. Matrices Unweighted y Weighted.





## Anexo 9. Listado de alternativas para análisis de sensibilidad.

COD TRAY.	TRAYECTO	C1 Reduccion de PaN	C2 Mejora de la señalización de pasos a nivel	C3 Mejora de los sistemas de ayuda a la conducción	C4 Reducción de los tiempos de viaje	C5 Reducción del cantón crítico	C6 Aumento del numero de circulaciones	C7 Reducción en el numero de incidencias	C8 Reducción de los retrasos	C9 Reducción de los costes de Mantenimiento	C10 Mejora de la diagnosis del equipamiento
<b>30802</b>	<b>BIF.VALLADA - BIF.L ALCUDIA</b>										
30802X	Supresion de PaN	Parcial	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 20%	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>30850</b>	<b>JATIVA - SILLA</b>										
30850I	Acondicionado Catenaria CR220 y Renovacion de Hilo contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850J	Acondicionado Catenaria CR160 y Renovacion de Hilo de contacto	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
30850O	Sustitucion Bloqueo electrico por electronico	Indiferente	Significativa	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora significativa
30850R	Cambio de BAD por BAB	Indiferente	Significativa	Alta	Menor 1%	Menor 1%	Mayor 20%	Menor 1%	Mayor 10%	Menor 1%	Mejora despreciable
<b>31050</b>	<b>ALMENARA - CASTELLON DE LA PLANA</b>										
31050B	Renovacion Via UIC 54 y traviesa RS	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
31050X	Supresion de PaN	Total	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>31200</b>	<b>VINAROZ - ULLDECONA</b>										
31200H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>31250</b>	<b>ULLDECONA - L ALDEA AMPOSTA</b>										
31250M	Construccion de Subestacion Adicional	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Aumento 10%	Mejora significativa
<b>31300</b>	<b>L ALDEA AMPOSTA - SALOU</b>										
31300D	Conversion Via Unica a Doble (solo infra e Via)	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 20%	Menor 1%	Mayor 100%	Aumento	Mayor 25%	Aumento 20%	Mejora despreciable
31300N	Sustitucion Enclavamientos por electronicos y CV Audiofrecuencia	Indiferente	Significativa	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Mayor 10%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora significativa
31300X	Supresion de PaN	Parcial	Despreciable	Despreciable	Mayor 10%	Mayor 5%	Menor 10%	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>32150</b>	<b>CAMPORROBLES - UTIEL</b>										
32150Y	Montaje de Tren tierra	Indiferente	Despreciable	Muy alta	Mayor 5%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora despreciable
<b>32300</b>	<b>UTIEL - BUÑOL</b>										
32300U	Cambio de BT por BAD	Indiferente	Significativa	Muy alta	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 100%	Aumento	Mayor 50%	Aumento 20%	Mejora elevada
32300V	Cambio de BT por BAB	Indiferente	Significativa	Muy alta	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 100%	Aumento	Mayor 50%	Aumento 20%	Mucha Mejora
<b>32350</b>	<b>BUNOL - VARA DE QUART</b>										
32350A	Renovacion Via UIC 60 y traviesa Hormigon	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Mayor 10%	Mayor 25%	Mejora despreciable
32350G	Sustitucion Desvios tipo A por C	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 20%	Menor 1%	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mayor 25%	Mejora despreciable
32350X	Supresion de PaN	Total	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Mayor 10%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>33650</b>	<b>ONTENIENTE - ALCOY</b>										
33650H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 20%	Mayor 10%	Mayor 20%	Mayor 20%	Mayor 25%	Mayor 10%	Mejora despreciable
<b>33800</b>	<b>SILLA - GANDIA</b>										
33800D	Conversion Via Unica a Doble (solo infra e Via)	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Menor 1%	Mayor 100%	Aumento	Mayor 50%	Menor 1%	Mejora despreciable
33800K	Montaje de control distribuido en subestaciones	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada
33800P	Construccion P. Bloqueo intermedios y reduccion canton critico	Indiferente	Significativa	Alta	Mayor 5%	Mayor 10%	Mayor 100%	Menor 1%	Mayor 10%	Aumento 10%	Mejora significativa
<b>33801</b>	<b>GANDIA MERCANCIAS - GANDIA PUERTO</b>										
33801H	Tratamiento de Infraestructura	Indiferente	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Mayor 10%	Mejora despreciable
33801L	Montaje de telemando de Seccionadores	Indiferente	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Menor 1%	Menor 10%	Menor 1%	Menor 5%	Menor 1%	Mejora elevada

C11 Mejora de las comunicaciones entre los municipios	C12 aumento de la seguridad vial del entorno	C13 Mejora de la permeabilidad urbana	C14 Reducción de los ruidos urbanos y rurales	C15 Mejora de la eficiencia energética	C16 Reducción Impacto ambiental durante la actuación	C17 Reducción impacto ambiental FFCC	C18 Coste de la actuación de mejora	C19 Coste de Mejoras subsiguientes	C20 Coste de explotación futura	C21 Tiempo de amortización de la actuación	C22 Tipo de Línea	C23 Automatización de itinerarios y bloqueos	C24 Mejora sistemas de explotación
Significativa	Significativa	Alta	Alta	Mayor 5%	Medio	Significativa	Menor 3 Meuros	Despreciable	Mayor 80%	Mayor 10 años	L. Troncal con via unica	Significativa	Significativa
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Bajo	Significativa	Mayor 25 Meuros	Alto	Mayor 80%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Bajo	Significativa	Mayor 25 Meuros	Importante	Mayor 80%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Despreciable	Despreciable	Menor 3 Meuros	Alto	Mayor 100%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Significativa	Significativa
Significativa	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Despreciable	Despreciable	Mayor 3 Meuros	Muy alto	Mayor 100%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Alta	Alta
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Significativa	Menor 1%	Medio	Alta	Mayor 25 Meuros	Muy alto	Mayor 100%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Significativa	Significativa	Alta	Alta	Menor 1%	Medio	Significativa	Menor 3 Meuros	Despreciable	Mayor 80%	Mayor 10 años	L. Troncal con PaN	Alta	Significativa
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Significativa	Mayor 5%	Medio	Despreciable	Menor 3 Meuros	Muy alto	Mayor 100%	Mayor 30 años	L. Troncal Buenas prestaciones	Despreciable	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Bajo	Significativa	Mayor 3 Meuros	Alto	Mayor 100%	Mayor 20 años	L. Troncal Buenas prestaciones	Despreciable	Despreciable
Alta	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Muy alto	Significativa	Mayor 25 Meuros	Importante	Mayor 120%	Mayor 30 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Despreciable	Despreciable	Menor 3 Meuros	Alto	Mayor 100%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Significativa	Significativa
Significativa	Significativa	Alta	Alta	Menor 1%	Medio	Significativa	Menor 3 Meuros	Despreciable	Mayor 80%	Mayor 10 años	L. Troncal con PaN	Alta	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Despreciable	Despreciable	Menor 3 Meuros	Importante	Mayor 100%	Mayor 10 años	L. Secundarias	Despreciable	Alta
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Bajo	Despreciable	Menor 3 Meuros	Importante	Mayor 110%	Mayor 20 años	L. Secundarias	Alta	Alta
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Bajo	Despreciable	Menor 3 Meuros	Alto	Mayor 120%	Mayor 20 años	L. Secundarias	Alta	Alta
Despreciable	Despreciable	Significativa	Despreciable	Menor 1%	Alta	Despreciable	Mayor 15 Meuros	Muy alto	Mayor 100%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Significativa	Despreciable	Significativa	Despreciable	Mayor 5%	Bajo	Despreciable	Mayor 3 Meuros	Importante	Mayor 80%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Significativa	Significativa	Alta	Alta	Menor 1%	Medio	Significativa	Menor 3 Meuros	Despreciable	Mayor 80%	Mayor 10 años	L. Troncal con PaN	Muy Alta	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Significativa	Mayor 10%	Medio	Despreciable	Menor 3 Meuros	Muy alto	Mayor 100%	Mayor 30 años	L. Secundarias	Despreciable	Despreciable
Alta	Significativa	Despreciable	Despreciable	Mayor 5%	Muy alto	Significativa	Mayor 25 Meuros	Importante	Mayor 120%	Mayor 30 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Despreciable	Despreciable	Menor 3 Meuros	Importante	Mayor 80%	Mayor 20 años	L. Troncal con PaN	Despreciable	Significativa
Significativa	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Mayor 10%	Medio	Significativa	Menor 3 Meuros	Alto	Mayor 110%	Mayor 10 años	L. Troncal con PaN	Muy Alta	Muy Alta
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Significativa	Mayor 5%	Medio	Despreciable	Menor 3 Meuros	Muy alto	Mayor 100%	Mayor 30 años	L. Secundarias	Despreciable	Despreciable
Despreciable	Despreciable	Despreciable	Despreciable	Menor 1%	Despreciable	Despreciable	Menor 3 Meuros	Despreciable	Mayor 100%	Mayor 10 años	L. Secundarias	Despreciable	Significativa